



Luonnonvara- ja
biotalouden
tutkimus 49/2020

Hyönteisten kasvatusta ja käyttöä ruokana tai rehuna

Jarkko K. Niemi, Maija Karhapää, Sandra Mellberg, Ilkka Latomäki ja
Gun Wirtanen

Hyönteisten kasvatusta ja käyttöä ruokana tai rehuna

Jarkko K. Niemi, Maija Karhapää, Sandra Mellberg, Ilkka Latomäki ja
Gun Wirtanen



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin

Tämä julkaisu perustuu ENTOLAB-hankkeessa kerättyyn materiaaliin. ENTOLAB-hanketta ovat rahoittaneet Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahasto/Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus, Lakeuden etappi Oy, Foodwest Oy, Pellon Group Oy, Niemi-säätiö, Etelä-Pohjanmaan korkeakoulusäätiö, Elintarvikkeiden tutkimussäätiö, Seinäjoki activity park Oy, A-rehu Oy, Korpimaan Fasaanitila, Uutelax Oy, Ari Kujala, Ylisen broiler Oy, MTY Kivimäki ja MTY Sippola.

Viittausohje:

Niemi, J.K., Karhapää, M., Mellberg, S., Latomäki, I. & Wirtanen, G. 2020. Hyönteisten kasvatus ja käyttö ruokana tai rehuna. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 49/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 114 s.

Jarkko K. Niemi, ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0002-9545-3509>



ISBN 978-952-380-005-2 (painettu)

ISBN 978-952-380-006-9 (verkkojulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkojulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-006-9>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Niemi, J.K., Karhapää, M., Mellberg, S., Latomäki, I. & Wirtanen, G.

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2020

Julkaisuvuosi: 2020

Kannen kuva: Jarkko Niemi / Luke

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <http://luke.juvenesprint.fi>

Tiivistelmä

Jarkko K. Niemi¹, Maija Karhapää², Sandra Mellberg³, Ilkka Latomäki⁴ ja Gun Wirtanen^{3,4}.

¹Luonnonvarakeskus, Kampusranta 9, 60320 Seinäjoki, jarkko.niemi@luke.fi

²Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 7–9, 00790 Helsinki, maija.karhapaa@luke.fi

³Helsingin yliopisto Ruralia-instituutti, Kampusranta 9 C, 60320 Seinäjoki, sandra.mellberg@martha.fi

⁴Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Kampusranta 11, 60320 Seinäjoki, ilkka.latomaki@seamk.fi, gun.wirtanen@seamk.fi

Noin kaksi miljardia ihmistä käyttää hyönteisiä ravinnokseen ja syötäväksi kelpaavia hyönteislajeja tunnetaan parisen tuhatta, mutta Suomessa alan liiketoiminta käynnistyi vasta muutama vuosi sitten ja hyönteiset katsotaan uuselintarvikkeiksi. Ruoaksi Suomessa voidaan käyttää tiettyjä kokonaisia hyönteisiä. Niitä voidaan rouhia, jauhaa tai kuivata, mutta niistä ei saa poistaa osia eikä eristää tai uuttaa ainesosia. Korkean proteiinipitoisuutensa vuoksi hyönteiset voivat olla myös hyvä rehuaine. Lisäksi niistä voidaan saada teollisuuteen raaka-aineita, kuten kitiiniä.

Tämä raportti perustuu Hyönteiskasvatuksen edistäminen Etelä-Pohjanmaalla-hankkeen (ENTOLAB) aikana kerättyyn materiaaliin. Raporttiin on koottu tietoa hyönteisten ravitsemuksellisista tarpeista, kasvatusolosuhteista, kasvatuksen hygieniasta, tuoteturvallisuuden varmistamisesta ja etenkin kotisirkkojen, jauhomatojen ja mustasotilaskärpäsien tuotannosta ja käytöstä.

Hyönteiset ovat tasalämpöisiä eläimiä tehokkaampia muuttamaan rehua eläinvalkuaiseksi ja rasvaksi, ja hyönteisten rehuhyötysuhteen on todettu olevan parempi kuin perinteisillä tuotantoeläimillä. Yleisimmin kasvatettavien hyönteisten pito vaatii trooppisia olosuhteita, noin 25–30 °C lämpötilaa ja 60–70 % ilmankosteutta. Hyönteisten ravintoainetarpeet ovat melko samankaltaiset kuin kehittyneillä eläimillä, lukuun ottamatta sterolien tarvetta ja muutamia poikkeuksia. Hyönteiset tarvitsevat aminohappoja, vitamiineja ja kivennäis- ja hivenaineita sekä hiilihydraatteja, lipidejä ja steroleja. ENTOLAB-hankkeen kasvatuskokeilu kotisirkkoilla (*Acheta domesticus*) osoitti, ettei kotisirkkojen ravinnoksi sovi mikä tahansa rehu, vaan sen on vastattava niiden ravintovaatimuksia.

Hygienia, taudeilta suojautuminen ja tuoteturvallisuuden varmistaminen ovat tärkeä osa menestyvää hyönteiskasvatusta. On kiinnitettävä huomiota hyvään hygieeniseen suunnitteluun ja rakentamiseen, tarkoituksenmukaiseen rakennuksen sijaintiin ja tilojen järjestämiseen, jotta riskejä voidaan hallita tehokkaasti. Pinnat ja materiaalit on valittava niin, että ne on helppo pitää puhtaana ja kunnossa. Myös lämpötilan ja ilmankosteuden säätömahdollisuuksiin on kiinnitettävä huomiota.

Tuotteesta saatava hinta, työmenekki, rehu-, energia-, logistiikka-, rakennus- ja aloituskustannukset sekä hyönteisten elinvoimaisuus ovat hyönteistuotannon kannattavuuden kannalta tärkeitä tekijöitä. Alan haasteena on tuotannon automatisointi, jotta kasvatuksesta saadaan taloudellisesti kilpailukykyistä. Koska ala on Suomessa uusi, voi sen kannattavuuden arviointiin liittyä paljon epävarmuutta.

Suomalaiset suhtautuvat melko myönteisesti hyönteisruokaan. Kuluttajien ostohalukkuuteen vaikuttavat kokemukset hyönteistuotteista, ruokaan liittyvät pelot, tieto ja kokemukset, kuten ruoan ulkonäkö-, haju- ja maistamiskokemukset. Hyönteisruoka on uutta, joten sen käyttöön liittyy kokeilunhalua ja itsensä ylittämistä. Hyönteisruoan laajamittaisen käytön edellytyksenä kuitenkin on, että sen käyttö arkipäiväistyy ja tarjolla on helppoja tapoja käyttää ja valmistaa hyönteisruokaa.

Asiasanat: kotisirkka, *Acheta domesticus*, jauhopukki, *Tenebrio molitor*, mustasotilaskärpänen, *Hermetia illucens*, hyönteiskasvatus, kasvatusolosuhteet, bioturvallisuus, hygieeniset kasvatustilat, hyönteisten ruokinta, hyönteiset elintarvikkeena, hyönteiset rehuna, kannattavuus, kysyntä

Summary

Jarkko K. Niemi¹, Maija Karhapää², Sandra Mellberg³, Ilkka Latomäki⁴ ja Gun Wirtanen^{3,4}.

¹Natural Resources Institute Finland (Luke), Kampusranta 7–9, 60320 Seinäjoki, jarkko.niemi@luke.fi

²Natural Resources Institute Finland (Luke), Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki, maija.karhapaa@luke.fi

³University of Helsinki Ruralia Institute, Kampusranta 9 C, 60320 Seinäjoki, sandra.mellberg@martha.fi

⁴Seinäjoki University of Applied Sciences, School of Food and Agriculture, Kampusranta 11, 60320 Seinäjoki, ilkka.latomaki@seamk.fi, gun.wirtanen@seamk.fi

About two billion people use insects as food. There are about two thousand insects species, which are known to be edible. In Finland, this business started only a few years ago and insects are considered as novel food. Certain whole insects can be used as food in Finland. They may be crushed, ground or dried, but ingredients may not be removed through isolation or extraction. Due to their high protein content, insects can also be used as good quality feed. In addition, insects can be used as raw material in the industry (e.g. chitin).

This report is based on material collected during the project Promotion of Insect Rearing in Southern Ostrobothnia (ENTOLAB). The report contains information on nutritional needs of insects, rearing conditions, hygienic condition during rearing, ensuring of product safety and use of insects e.g. house crickets, mealworms and black soldier flies.

Insects are more effective than warm-blooded animals in converting feed to animal protein and fat, and the feed efficiency of insects has been found to be better than for traditional farmed animals. Rearing of the most common insects requires tropical conditions i.e. temperature of about 25–30 °C and humidity of 60-70%. The nutrient requirements of insects are quite similar to those of more developed animals except for sterols and a few other exceptions. Insects need amino acids, vitamins, minerals and micronutrients, as well as carbohydrates, lipids and sterols. The rearing experiments in the ENTOLAB-project with house crickets (*Acheta domesticus*) showed that any feed is not suitable for the house crickets; the feed must meet their nutritional requirements.

Hygiene, disease control and product safety are important parts of successful insect rearing. Attention must be paid to good hygienic design and proper construction, appropriate location of the building and organization of the premises in order to manage the risks effectively. Surfaces and materials must be chosen to enable easy cleaning and maintenance. Attention must also be paid to the possibilities to adjust both temperature and humidity.

The price of the product, labour, feed, energy, logistics, construction and start-up costs as well as the viability of the insects are important factors in the profitability of insect production. Automatisations of the production is a challenge i.e. to make the production economically competitive. The sector is new in Finland and therefore there may be a lot of uncertainty in assessing the profitability.

The Finns have a positive attitude towards edible insects. Consumers' willingness to purchase insects for food is affected by experiences they have on insect products, food-related fears, and knowledge and experiences they have on food, i.e. appearance, smell and taste. Insect food is novel, thus it involves a desire to experiment new things and to have courage to exceed your limits. However, the requirement for large-scale use of edible insects is that using insects as food becomes part of daily diets and that it is easy to use and prepare insect food.

The ENTOLAB project was financed by the Rural Development Programme for Mainland Finland 2014–2020 / Centre for Economic Development, Transport and the Environment in Southern Ostrobothnia, Lakeuden etappi, Foodwest Oy, Pellon Group Oy, Niemi-säätiö, Etelä-Pohjanmaan korkeakoulusäätiö, Elintarvikkeiden tutkimussäätiö, Seinäjoki Activity Park Oy, A-rehu Oy, Korpimaan Fasaanitila, Uutelax Oy, Ari Kujala, Ylisen broiler Oy, MTY Kivimäki and MTY Sippola.

Keywords: house cricket, *Acheta domestica*, mealworm, *Tenebrio molitor*, black soldier fly, *Hermetia illucens*, insect rearing, rearing conditions, biosecurity, hygienic rearing facilities, feed for insects, edible insects, insects as feed.

Sammanfattning

Jarkko K. Niemi¹, Maija Karhapää², Sandra Mellberg³, Ilkka Latomäki⁴ ja Gun Wirtanen^{3,4}.

¹Naturresursinstitutet, Kampusranta 9, 60320 Seinäjoki, jarkko.niemi@luke.fi

²Naturresursinstitutet, Latokartanonkaari 7–9, 00790 Helsinki, maija.karhapaa@luke.fi

³Helsingfors universitet Ruralia-institutet, Kampusranta 9 C, 60320 Seinäjoki, sandra.mellberg@martha.fi

⁴SeAMK Ruoka, Kampusranta 11, 60320 Seinäjoki, ilkka.latomaki@seamk.fi, gun.wirtanen@seamk.fi

Cirka två miljarder människor använder insekter som mat. Ett par tusen insektarter är kända som ätliga. I Finland började verksamheten för några år sedan och insekter betraktas som nya livsmedel. Vissa hela insekter kan användas som mat i Finland. De kan krossas, malas eller torkas, men man får inte extrahera eller isolera ingredienser ur dem. På grund av det höga proteininnehållet kan insekter också användas som fodermaterial av god kvalitet. Dessutom kan de användas som råvaror i industrin, t.ex. kitin.

Rapporten är baserad på material som samlats in under Främjande av insektsodling i Södra Österbotten (ENTOLAB) projektets gång. Rapporten innehåller information om insekters närings-behov, uppfödningförhållanden, hygien under odlingen, säkerställande av produktsäkerhet och användningen av insekter ss. hussysror, mjölbaggs larver och svarta soldatflugor inom produktionen.

Insekter är mera effektiva än varmblodiga djur vid omvandling av foder till animaliskt protein och fett, och utbytet vid omvandlingen av foder har hos insekter visat sig vara bättre än hos traditionella produktionsdjur. De vanligast odlade insekterna kräver tropiska förhållanden dvs. en temperatur på 25–30 °C och en luftfuktighet 60–70%. Näringsbehovet hos insekter är ganska likt det hos mera utvecklade djur, med undantag för behovet av steroler och några få andra undantag. Insekterna behöver aminosyror, vitaminer, mineraler och spårämnen, samt kolhydrater, lipider och steroler. I ENTOLAB-odlingsförsöken med hussysror (*Acheta domesticus*) visade att vilket foder som helst inte är lämpligt för hussysorna utan de skall utfordras med näringsämnen som uppfyller deras näringsbehov.

Hygien, smittskydd och produktsäkerhet är viktiga delområden i framgångsrik insektsodling. God hygienisk design och konstruktionsteknik skall användas, lämplig plats för byggnaden skall väljas och lokalernas ordning optimeras så att riskerna kan hanteras effektivt. Ytor och material skall väljas, så att de är lätta att hålla rena och i gott skick. Man måste också göra det möjligt att justera både temperaturen och luftfuktigheten.

Produktpriset, arbetskrafts-, foder-, energi-, logistik-, konstruktions- och startkostnader samt insekternas livskraftighet är viktiga faktorer för lönsamheten inom insektsproduktionen. Utmaningar för branschen är automatisering av produktionen, så att odlingen kan fås konkurrenskraftig ekonomiskt sett. Eftersom sektorn är ny i Finland kan många osäkerhet finnas i bedömningen av lönsamheten.

Finländarna är rätt positivt inställda till insektsmat. Konsumenternas villighet att köpa påverkas av upplevelser med insektsprodukter, livsmedelsrelaterad rädsla, kunskap och erfarenheter dvs. matens utseende, lukt och smak. Insektsmat är ny, vilket innebär en önskan om att experimentera och överskrida sig själv. Förutsättningen för storskalig användning av insektsmat är dock att användningen blir alldaglig och att det är enkelt att använda och förbereda insektsmat.

ENTOLAB-projektet har finansierat av Programmet för utveckling av landsbygden i Fastlandsfinland 2014–2020 / Närings-, trafik- och miljöcentralen i Södra Österbotten, Lakeuden etappi, Foodwest Oy, Pellon Group Oy, Niemi-säätiö, Etelä-Pohjanmaan korkeakoulusäätiö, Elintarvikkeiden tutkimussäätiö, Seinäjoki Activity Park Oy, A-rehu Oy, Korpimaan Fasaanitila, Uutelax Oy, Ari Kujala, Ylisen broiler Oy, MTY Kivimäki och MTY Sippola.

Nyckelord: hussyrsa, *Acheta domesticus*, vanlig mjölbagge, *Tenebrio molitor*, svart soldatfluga, amerikansk vapenfluga, *Hermetia illucens*, uppfödning av insekter, förhållanden för uppfödning, biosäkerhet, hygieniska utrymmen för uppfödning, insektsfoder, insekter som mat, insekter som foder.

Sisällys

1. Johdanto	12
2. Hyönteisten kasvatatus	14
2.1. Taustatietoa hyönteisistä.....	14
2.2. Kasvatettavan hyönteislajin valinta	16
2.3. Ekologisuus ja rehuhyötysuhde	16
2.4. Hyönteisten kasvatuksen työvaiheet.....	18
2.5. Tuotantotilassa hygieniä ja tautisuojaus	19
2.5.1. Kasvattamon sijaintipaikka.....	20
2.5.2. Sisätilojen jakaminen	22
2.5.3. Rakennuksen perusosat	23
2.5.4. Sisätilojen suunnittelu.....	24
2.5.5. Henkilökunnan tilat	26
2.6. Hyönteisten hyvinvointi	26
2.7. Hyönteisten lopetusmenetelmät.....	27
2.8. Hyönteisten sadonkorjuu.....	28
3. Hyönteisten ruokinta.....	29
3.1. Hiilihydraatit	29
3.2. Valkuaisaineet.....	30
3.3. Rasva-aineet.....	31
3.4. Vitamiinit.....	32
3.4.1. Vesiliukoiset vitamiinit	32
3.4.2. Rasvaliukoiset vitamiinit	33
3.4.3. Kaupalliset vitamiinivalmisteet hyönteisten ruokintaan.....	34
3.5. Kivennäis- ja hivenaineet	35
3.6. Vesi.....	38
3.7. Rehun fysikaaliset, kemialliset ja biologiset ominaisuudet	38
3.8. Syömisestä käynnistäjät ja estäjät.....	38
3.9. Rehulainsäädäntö	39
3.10. Symbioosissa elävät mikro-organismit	40
3.11. Onnistuneita hyönteisrehuja	41
4. Kotisirkka (<i>Acheta domesticus</i>).....	43
4.1. Kotisirkkan elinkaari.....	43
4.2. Kotisirkkojen kasvatatus	44
4.3. Kasvatuslaatikot.....	44
4.3.1. Sirkkojen munintavaihe.....	45

4.3.2. Pikkusirkkojen hoito.....	46
4.4. Kasvatusolosuhteet.....	46
4.4.1. Lämpötila.....	46
4.4.2. Ilmankosteus	46
4.4.3. Kasvatustiheys.....	47
4.4.4. Valojaksotus	47
4.5. Kotisirkkojen ravintovaatimukset	47
4.5.1. Kotisirkkojen vitamiinitarve	47
4.5.2. Kotisirkkojen kivennäis- ja hivenainetarve.....	48
4.5.3. Vesilähde ja tuoreruoka	48
4.5.4. Kasviperäisten sivuvirtojen käyttö kotisirkkojen ruokinnassa	48
4.6. Kotisirkkojen kasvatuksen haasteita	49
4.7. Kokemuksia ENTOLABin sirkkakasvatuskokeilusta	49
5. Jauhopukki (<i>Tenebrio molitor</i>).....	52
5.1. Jauhopukin elinkaari	52
5.2. Jauhomatojen kasvatuslaatikot	54
5.2.1. Kasvatustavat	55
5.2.2. Hoitotoimenpiteet kasvatuksessa	55
5.3. Kasvatusolosuhteet.....	56
5.3.1. Lämpötila.....	56
5.3.2. Kosteus	56
5.3.3. Jauhomatojen kasvatustiheys	57
5.3.4. Valojaksotus	57
5.3.5. Hapen tarve.....	58
5.4. Jauhopukkien ravintovaatimukset.....	58
5.4.1. Kasvatusalustat	59
5.4.2. Jauhomatojen valkuaisaine- ja aminohappotarve	61
5.4.3. Jauhomatojen vitamiinitarve	61
5.4.4. Jauhomatojen sterolien tarve	62
5.4.5. Kuidun tarve	62
5.4.6. Jauhomatojen rehunvalikointikyky	62
5.5. Vesilähde ja tuoreruoka.....	62
5.6. Sivuvirtojen käyttö jauhomatojen kasvatuksessa.....	63
5.7. Jauhomatojen kasvatuksen haasteita	64
6. Mustasotilaskärpänen (<i>Hermetia illucens</i>).....	65
6.1. Mustasotilaskärpäsen elinkaari	65
6.2. Mustasotilaskärpäsen toukan kasvatus	66
6.3. Mustasotilaskärpäsen toukkien kasvatuslaatikko.....	67

6.4. Mustasotilaskärpäsien kasvatusolosuhteet.....	67
6.4.1. Lämpötila.....	67
6.4.2. Ilmankosteus	67
6.4.3. Valojaksotus	68
6.4.4. Kasvutiheys	68
6.5. Mustasotilaskärpäsien ja toukan ravintovaatimukset.....	68
6.6. Mustasotilaskärpäsien toukan käyttö lannan käsittelyssä	69
7. Rehuksi kasvatettavat hyönteislajit	71
8. Hyönteiset elintarvikkeena.....	72
8.1. Kotisirkan ravintoarvo.....	73
8.2. Jauhomadon ravintoarvo.....	73
8.3. Mustasotilaskärpäsien toukan ravintoarvo	74
8.4. Kitiini	74
9. Hyönteisten jalostus elintarvikkeeksi	76
9.1. Hyönteisten lopettaminen	76
9.2. Hyönteisten dekontaminointi ja säilyvyys elintarvikkeena.....	76
9.3. Hyönteisten kuivaaminen	77
9.4. Hyönteisten jauhaaminen.....	78
9.5. Hyönteisten polku elintarvikkeena kuluttajalle	79
9.6. Valmistuksen tulevaisuus.....	80
10. Hyönteisten kuluttajamarkkinat ja käyttö keittiössä.....	82
10.1. Suomalaisten suhtautuminen hyönteisruokaan	82
10.2. Hyönteisten ravintosisältö	83
10.3. Hyönteiset ruoanlaitossa	85
10.3.1. Kotisirkkaleipä ja ravitsemusväitteen toteutuminen	85
10.3.2. Sirkoista tehty liemi maun parantajana	85
11. Hyönteiskasvatuksen ja rehukäytön taloudellisuuden tarkastelu.....	87
11.1. Hyönteistuotemarkkinoiden kehitysnäkymät.....	87
11.2. Hyönteiskasvatuksen kannattavuuden tarkastelu.....	87
11.3. Toiminnan aloituskustannukset kotisirkkakasvatuksessa.....	88
11.4. Tuotannon muuttuvat kustannukset	89
11.5. Kotisirkkojen kasvatuksen kannattavuusnäkyviä	89
11.6. Hyönteisten käyttö tuotantoeläinten rehuksi	92
12. Yhteenveto.....	94
Kirjallisuus.....	97

1. Johdanto

Maailmanlaajuisesti tunnetaan lähes 2 000 hyönteislajia, joita voidaan käyttää elintarvikkeeksi (van Huis ym. 2013). Länsimaissa kasvatusta keskittyy kuitenkin muutamiin tai enintään muutamiin kymmeneen varteenotettavimpiin hyönteislajeihin. Maailmassa noin kaksi miljardia ihmistä käyttää hyönteisiä ravintonaan (van Huis ym. 2013), mutta Euroopassa hyönteisten syönti on uutta. Vaikka hyönteisten kasvatusta on yleisempää Euroopan ulkopuolella, on hyönteisiä kasvatettu Euroopassa jo pitkään lemmikkieläinten ruoaksi, puutarhojen tarpeisiin ja kalojen syöteiksi (Cotton ja George 1929).

Marraskuussa 2017 viranomaiset tiedottivat, että hyönteisten käyttö elintarvikkeena on Suomessa mahdollista (MMM 2017). Ruokaviraston (aiemmin Elintarviketurvallisuusvirasto, Evira 2018b) mukaan ruoaksi Suomessa on sallittu vain kasvatettujen kokonaisten hyönteisten käyttö. Kokonaisia hyönteisiä voidaan rouhia, jauhaa tai kuivata, mutta niistä ei saa poistaa osia (esimerkiksi siipiä, jalkoja tai päätä) eikä eristää tai uuttaa ainesosia (esimerkiksi rasva- tai proteiinijakeita). Hyönteiset luetaan uus-elintarvikkeiksi, joten ruokakäytössä niille on haettava ja saatava uus-elintarvikehyväksyntä. Markkinoilla Suomessa saavat elintarvikkeena olla siirtymäaikana eli 1.1.2019 alkaen kaikki sellaiset hyönteislajit, jotka ovat jo olleet elintarvikkeena laillisesti markkinoilla Suomessa tai muussa EU-maassa ennen 1.1.2018, ja joista on jätetty uus-elintarvikehakemus 1.1.2019 mennessä. Kaikki toimijat saavat myydä ja markkinoida näitä uus-elintarvikehakemusten mukaisia hyönteislajeja ja niistä valmistettuja tuotteita elintarvikkeina siihen saakka, kunnes niitä koskevat uus-elintarvikehakemukset on käsitelty. Ruokaviraston (2020) mukaan Suomessa elintarvikkeeksi sallittuja hyönteislajeja ovat tätä raporttia kirjoitettaessa *Acheta domesticus* (kotisirkka), *Alphitobius diaperinus* (kanatunkkari, toukka), *Apis mellifera* (mehiläinen, kuhnuritoukka), *Gryllobates sigillatus* (trooppinen kotisirkka), *Hermetia illucens* (mustasotilaskärpänen, toukka), *Locusta migratoria* (idäntoukka), *Schistocerca gregaria* (aavikkokulkusirkka) ja *Tenebrio molitor* (jauhokukki, toukka). Tauteja levittäviä, uhanalaisia, suojeltavia tai haitallisiksi määritettyjä vieraslajeja ei saa kasvatella.

Tällä hetkellä hyönteisten kasvatusta Suomessa on vielä osittain pienimuotoista yritystoimintaa, mutta tulevaisuudessa on tarve siirtyä suurempiin tuotantoyksiköihin. Hyönteistuotannon kannattavuutta rajoittaa tällä hetkellä suuri käsityön määrä hyönteisten kasvatuksessa. Hyönteisten teollisen tuotannon suurena haasteena on kehittää automaatioprosesseja, jolloin tuotantolaitoksista saadaan taloudellisesti kilpailukykyisiä verrattuna kotieläimillä tuotettuun lihaan (van Huis ym. 2013). Tuotannon automatisointi on keskeinen edellytys alan kasvulle. Automaatioprosesseja hyönteisten kasvatuksessa on tutkittu mm. silkkiäistoukilla (Ohura 2003). Myös Kanadassa on suunniteltu optimaalisia tiloja hyönteisten laajamittaiseen kasvatukseen (Kok 1983, Kok ym. 1990, van Huis ym. 2013).

Kasvatettavat hyönteiset luetaan EU:ssa maatalouseläimiksi. Hyönteisala on nostettu mahdollisuudeksi luoda uusia sivuelinkeinoja maaseudun yrityksille sekä vähentää suomalaisen ruokajärjestelmän riippuvuutta tuontiproteiineista. Elinkeino voi liittyä vaikkapa hyönteisten kasvatukseen maatilantuotantomuotona. Hyönteisten kasvatusta voisi olla maatilalle uusi tuotantosuunta, jos esimerkiksi perinteisestä kotieläintuotannosta luovutaan. Hyönteisten jatkojalostus voi tarjota mahdollisuuden elämys- ja ruokapalveluihin. Alan vanhin yritys Suomessa tuottaa petohyönteisiä biologiseen torjuntaan. Hyönteisalalle on viimeisten viiden vuoden aikana tullut erilaisia hyönteisten kasvatukseen ja kasvatustekniikkaan erikoistuneita yrityksiä, jotka tuottavat hyönteisiä elintarvike- ja rehukäyttöön. Hyönteisiä kasvatetaan Suomessa myös pienimuotoisesti kotikasvatuksessa lemmikkieläimille ja viime aikoina myös ruuaksi.

Koska toimiala on uusi, tarvitaan tietoa siitä, miten hyönteisten kasvatusprosessi käytännössä kannattaisi toteuttaa. Hyönteisliiketoimintaa aloittavan yrittäjän on mietittävä, mikä on yrityksen ydintekeminen, vahvuus ja tuotevalikoima? Keskeisimmät tavat käyttää hyönteisiä ovat eläinten rehuna, elintarvikkeena tai non-food tarkoituksiin. Sitran raportin (2015) mukaan hyönteistuotannolla olisi

mahdollista kattaa 20 % maailman rehuntarpeesta. Raportissa ”Tiekartta Suomen proteiiniomavaraisuuden parantamiseksi” (Kaukovirta-Norja ym. 2015) hyönteiset nähtiin mahdollisena uutena proteiini-lähteenä Suomessa. Hyönteisten ravintokäyttöä on esitetty yhdeksi ratkaisuksi tuottaa proteiinia ihmisille ja eläimille. Tässä selvityksessä keskitytään kolmen potentiaalisen hyönteislajin eli kotisirkkojen (*Acheta domesticus*), jauhomatojen (*Tenebrio molitor*) ja sotilaskärpäsän toukan (*Hermetia illucens*) kasvatukseen ja ravintotarpeisiin. Nämä lajit saavat olla Suomessa markkinoilla elintarvikkeina siirtymäaikana eli 1.1.2019 alkaen. Niiden on Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen EFSA:n raportissa mainittu soveltuvan rehuksi tai ihmisravinnoksi (EFSA 2015). Hyönteiskasvatuksen edistäminen Etelä-Pohjanmaalla -hankeen (ENTOLAB) kirjallisuusselvitykseen on koottu tietoja näiden hyönteislajien, sekä laajemminkin hyönteisten optimaalisista kasvatusolosuhteista ja ravitsemuksellisista tarpeista. Lisäksi tässä julkaisussa on tietoa hyönteiskasvatuksen hygieniasta, tuoteturvallisuuden varmistamisesta ja hyönteisten käytöstä rehuna tai ihmisravintona.

2. Hyönteisten kasvatusta

2.1. Taustatietoa hyönteisistä

Jopa 80 % maailman eläinlajeista on hyönteisiä. Hyönteiset kuuluvat hämähäkkieläimien, äyriäisten ja tuhatjalkaisten muodostamaan pääjaksoon, niveljalkaisiin. Hyönteiset ovat ulkoisilta ominaisuuksiltaan ja elintavoiltaan hyvin vaihteleva eläinkunnan ryhmä. Hyönteisillä on ulkoinen kitiinitukiranka, kolmiosainen ruumis (pää, eturuumis ja takaruumis), kuusi jalkaa ja tuntosarvet. Hyönteisten kova kitiinikuori on tehokas suoja muita eläimiä ja kuivumista vastaan. Kuoressa oleva kitiini on tyypeä sisältävä polysakkaridi. Jalat ovat kiinnittyneet eturuumiiseen. Hyönteisillä on päässä piste- ja/tai verkkosilmät, tuntosarvet sekä suuosat (Cloutier 2015). Verkkosilmät havaitsevat hahmoja ja liikettä, pistesilmät ainoastaan valoa. Tuntosarvissa on tunto- ja hajuaistimia, ja niiden rakenne vaihtelee lajikohtaisesti. Hyönteisillä ei ole keuhkoja, vaan hyönteisen elimistössä kulkee haaroittuvia ilmaputkia, jotka kuljettavat hapetta ruumiin eri osiin. Ilmaputket avautuvat kitiinipintaan ja kudokset saavat happensa ilmaputkien haaroista. Happi kulkee putkistossa passiivisesti, isommasta happipitoisuudesta pienemmän päin. Hyönteinen pystyy säätelemään hapenottoa hengitysliikkeillä tai putkiston suuaukon karvojen liikkeillä (Lanham 1964). Hyönteisten hermostoa kutsutaan tikapuuhermostoksi. Rasvaelin säätelee hyönteisten energiatasapainoa ja aineenvaihduntaa (Arresse ja Soulages 2010).

Hyönteisen suuosat voivat olla purevat tai imevät. Purevat suuosat ovat erikoistuneet jauhamaan kovaa ja kiinteää ravintoa. Imevät suuosat soveltuvat nestemäisen ravinnon hyödyntämiseen (Lanham 1964). Hyönteisten ruoansulatuskanava muodostuu etu- keski- ja takasuolesta. Ravinto kulkeutuu suusta nielun kautta etusuoleen. Etusuoleessa voi olla esimaha, jossa ravinto jauhautuu hienompiin jakeisiin. Syöty ravinto varastoituu kupuun. Varsinainen ruoansulatus ja ravinteiden imeytyminen tapahtuu keskisuoleessa. Sulamaton osa ravinnosta kulkeutuu takasuoleen ja poistuu ulosteena peräsuolen ja peräaukon kautta. Joillakin hyönteislajeilla ruoansulatuskanavan mikrobiostolla on tärkeä merkitys hyönteisten ruoansulatuksen toiminnalle (Krishnan ym. 2014).

Hyönteisiä voidaan kasvattaa pienessä tilassa, sillä ne eivät luontaisestikaan vaadi suurta elintilaa. Useimmilla hyönteisillä on lyhyt elinkaari ja niiden lisääntyminen on nopeaa. Hyönteiset ovat sopeutuneet hyvin erilaisiin ympäristöihin. Hyönteisten menestykseen vaikuttavat mm. 1) kova ulkokuori, 2) pieni koko, 3) sopeutuvuus, 4) lentokyky, 5) vaihtolämpöisyys 6) muodonvaihdos ja 7) tehokas lisääntymiskapasiteetti (van Huis ym. 2013). Muodonmuutos auttaa hyönteisiä sopeutumaan erilaisiin olosuhteisiin, sillä usein toukka ja aikuinen syövät erilaista ravintoa. Hyönteisten kehityksen lepovaiheet (muna- ja kotelovaihe) auttavat hyönteisiä selviytymään kuivuuskausista ja talvesta (Lanham 1964).

Hyönteisten muodonmuutos voi olla joko täydellinen tai vaillinainen (Cloutier 2015). Täydellinen muodonmuutos sisältää neljä eri kehitysvaihetta, jotka eroavat ulkonäöltään toisistaan huomattavasti: muna, toukka, kotelo ja aikuinen (esim. perhoset ja kovakuoriaiset). Hyönteisen kehitys alkaa naaraan munimasta munasta, jonka sisällä hedelmöityneestä munasolusta kehittyy toukka (Lanham 1964). Toukkavaiheen aikana toukka luo nahkansa yleensä noin 4–10 kertaa. Kotelovaiheen aikana hyönteinen ei tarvitse ravintoa. Kotelovaihe sijoittuu yleensä talvikaudelle tai kuivaan kauteen, jolloin ravintoa on muutoinkin vähän. Kotelovaiheen päättyessä aikuinen hyönteisyksilö murtaa tiensä ulos kotelosta (Lanham 1964).

Suorasiipisillä (heinäsirkat, sirkat, hepokatit) on osittainen eli vaillinainen muodonmuutos. Niillä eri kehitysvaiheet, muna, nymfi, aikuinen, muistuttavat enemmän tai vähemmän toisiaan ja muutos tapahtuu vähitellen ja täydellisestä muodonmuutoksesta puuttuu jokin vaihe, yleensä puuttuu kotelovaihe, mutta puuttuva vaihe voi olla jokin muukin (Cloutier 2015). Naaras munii munan ja munan sisällä hedelmöitynyt munasolu kehittyy toukaksi, josta käytetään nimitystä nymfi tai vedessä elävän toukan tapauksessa naiadi. Vastakuoriutunut toukka tai nymfi ei välttämättä muistuta sukukypsää hyönteistä

kovin paljon eikä sillä ole kehittyneitä siipiä tai sukupuolielimiä. Nymfi alkaa syödä kerätäkseen energiaa kehitystään varten ja kasvaessaan se luo nahkansa useita kertoja. Viimeisen nahanluonnin aikana toukkanahan alta paljastuu aikuinen hyönteisyksilö (Lanham 1964).

Hyönteiset ovat tasalämpöisiin eläimiin verrattuna tehokkaampia muuttamaan rehua eläinvalkuaiseksi ja rasvaksi, ja hyönteisten rehuhyötysuhteen on todettu olevan parempi kuin perinteisillä tuotantoeläimillä (Diener ym. 2009, Collavo ym. 2005, Nakagaki ja Defoliart 1991, Offenbergl 2011, Slansky 1985). Kasvatettavan hyönteislajin tulisi olla helposti kasvatettava, hyvän makuinen, houkuttelevan värinen ja lajin tulisin soveltua rehukäyttöön ja mahdollisesti myös ruuaksi. Kasvatettavan hyönteislajin olisi hyvä olla paikallinen laji, jotta sen kasvatuksesta ei aiheudu vaaraa ympäristölle. Hyönteislajin tulisi olla sellainen, joka tulee toimeen paikallisissa ilmasto-olosuhteissa, että kasvatustilan lämmityskustannukset eivät aiheuta ylimääräisiä kuluja (van Huis ym. 2013). Yleisimmin kasvatettavien hyönteisten kasvatukseen vaatii trooppisia olosuhteita eli noin 25–30 °C lämpötilaa ja 60–70 % ilmankosteutta.

Joitakin hyönteislajeja on kesytetty ja tarhataan, koska ne tuottavat kaupallisesti arvokkaita tuotteita. Mehiläiset ja silkkiäistoukat ovat tunnetuimpia esimerkkejä. Joitakin hyönteisiä, niiden toukkia ja matoja kasvatetaan ja myydään lemmikki- ja eläintarhaeläinten rehuksi ja kalastukseen syöteiksi Euroopassa, Pohjois-Amerikassa ja osissa Aasiaa (Huldén 2015, van Huis ym. 2013).

Kaupallisesti arvokasta tuotetta tuottaa esim. kokenillikirva (*Dactylopius coccus*). Kokenillikirva lajin naaras tuottaa punaista väriainetta (karmiinit, kokkiniili tai karmiinihappo, E120 elintarvikeväriaine), jota käytetään elintarvikkeissa, tekstiileissä, lääkkeissä ja kosmetiikkateollisuudessa väriaineena (Donkin 1977). Resiliini on myös tärkeä hyönteisistä saatava elastinen proteiini, jota käytetään lääketieteessä. Resiliinillä on tärkeä asema esim. kirppujen hyppimismekanismissa. Resiliinin avulla on korjattu mm. verisuonia, koska sen jousto-ominaisuudet ovat erinomaiset (Elvin ym. 2005). Pölypunkkeja tuotetaan kaupallisesti allergiatestauksen tarpeisiin (Feng ym. 2009, van Huis ym. 2013).

Hyönteisiä käytetään lääketieteessä myös esim. toukkaterapiassa, jossa raatokärpäsiin kuuluvan kultakärpäsen (*Lucilla sericata*) toukat poistavat nekroottista kudosta haavan ympäriltä. Tulehtuneita haavoja ja palohaavoja voidaan hoitaa myös mehiläistuotteilla, kuten hunajalla, mehiläiskittivahalla, kuningatarhyttelöllä ja mehiläisen myrkyllä (van Huis 2003). Hyönteisiä on kasvatettu myös maatalouskäyttöön tuhohyönteisten torjuntaan ja hyötykasvien pölytykseen (van Huis ym. 2013).

Lemmikkieläinten ruoaksi ja kalojen syöteiksi tuotetaan eniten sirkkoja (*Gryllodius sigillatus*, *Gryllus bimaculatus* ja *Acheta domesticus*), jättijauhوماتoja (*Zophobas morio*), kanatunkkareita (*Alphitobius diaperinus*), jauhopukkeja (*Tenebrio molitor*), idänkulkusirkkoja (*Locusta migratoria*), ruusukuoriaisia (*Pachnoda marginata peregrina*), isovahakoisaa (*Galleria mellonella*), argentiinan torakoita (*Blaptica dubia*) ja huonekärpäsen toukkia (*Musca domestica*). Sirkat vaativat enemmän piiloja, tilaa ja kosteutta kuin ravinnoksi kasvatetut toukat esim. kanatunkkari (*Alphitobius diaperinus*) ja jauhopukki (*Tenebrio molitor*). Sirkat ovat myös enemmän tai vähemmän äänekkäitä (van Huis ym. 2013).

Hyönteisiä kasvatetaan tutkimuksen, kasvinjalostuksen ja kemiallisten torjunta-aineiden testaukseen. Hyönteisiä kasvatetaan myös eläintarhoihin, perhospuutarhoihin ja lemmikkieläiminä. Kiinassa, Japanissa, Thaimaassa ja Vietnamin sarkkoja ja kovakuoriaisia (kampasarviset, Lucanidae ja sarvikuonokkaat, Dynastinae) käytetään tappeluissa, joiden voittajista lyödään vetoa. Viime aikoina on tutkittu hyönteisten mahdollisuuksia myös lannan ja jätteen biokonversiossa. Lupaavin hyönteislaji tähän tarkoitukseen on mustasotilaskärpäsen toukka (*Hermetia illucens*) (van Huis ym. 2013).

Hyönteisten kasvatuksessa onnistuminen vaatii hyönteisten lajikohtaisen biologian, kasvatusolosuhteiden ja ravintoainetarpeiden tuntemista, jotta voidaan luoda suotuisat olosuhteet hyönteisten kasvatukselle (van Huis ym. 2013, Feng ym. 2009, Schneider 2009). Hyönteisen kehitysvaihe vaikuttaa ravinto- ja olosuhtetarpeisiin. Munavaiheessa, aikaisessa toukkavaiheessa tai nymfivaiheessa tarvitaan

ravitsevampaa rehua ja enemmän lämpöä ja kosteutta kuin muissa kehitysvaiheissa (Punzo ja Mutchmor 1980). Kotelovaiheessa hyönteinen kestää parhaiten alhaista lämpötilaa tai alhaista kosteutta tai lämpötilan vaihteluita.

2.2. Kasvatettavan hyönteislajin valinta

Kasvatettavan hyönteislajin tulisi olla helposti kasvatettava, hyvän makuinen, houkuttelevan värinen ja lajin tulisin soveltua rehuikäyttöön ja mahdollisesti myös ruuaksi. Lauhkealla vyöhykkeellä suositellaan käytettäväksi laajalle levinneitä lajeja, kuten kotisirkka (*Acheta domestica*). Kasvatettavan hyönteislajin olisi hyvä olla paikallinen laji, jotta sen kasvatuksesta ei aiheudu vaaraa ympäristölle. Tällaiset paikalliset lajit ovat todennäköisesti jo kulttuurillisesti hyväksytyjä. Hyönteislajin tulisi olla sellainen, joka tulee toimeen paikallisissa ilmasto-olosuhteissa, että kasvatustilan lämmityskustannukset eivät aiheuta ylimääräisiä kuluja (van Huis ym. 2013).

Massatuotantoon tarkoitettulla hyönteislajilla olisi hyvä olla tiettyjä ominaisuuksia kuten luontaisesti nopea kasvu ja kehityskierto, vähäinen kuolleisuus ja hyvä lisääntymiskapasiteetti (van Huis ym. 2013). Potentiaalisella kasvatukseen soveltuvalla hyönteislajilla on myös hyvä rehuhyötysuhde, luontaisesti pieni tilantarve ja hyvä tautien vastuskyky. Tällaisia hyviä massatuotantoon soveltuvia lajeja ovat mm. mustasotilaskärpänen (*Hermetia illucens*) rehuksi ja jauhopukki (*Tenebrio molitor*) sekä ruuaksi että rehuksi. Muita massatuotantoon soveltuvan lajin hyviä ominaisuuksia ovat soveltuvuus kasvatusprosessin automatisointiin ja mahdollisuus jalostaa lajia geneettisesti tuottavammaksi. Hyönteistuotantoa suunnitellessa on myös hyvä pohtia, että mikä on hyönteistuotannon ekologinen jalanjälki esim. kasvatettavan hyönteislajin kasvihuonekaasupäästöjen määrä tai vedentarve (van Huis ym. 2013).

2.3. Ekologisuus ja rehuhyötysuhde

Hyönteisten tuotantoa ravinnoksi on esitetty yhtenä mahdollisuutena vastata väestönkasvun aiheuttamiin ruokahuollon haasteisiin. Vuonna 2013 julkaistun FAO:n raportin mukaan hyönteisten kasvatamisella ihmisravinnoksi on ekologisia etuja verrattuna ”perinteiseen” lihantuotantoon (van Huis ym. 2013). Van Huis ym. (2013) mukaan, mikäli otetaan huomioon kaikki tuotannon ja kuljetusten kustannukset, vedentarve, kasvihuonekaasupäästöjen määrä ja fossiilisten polttoaineiden käyttö, hyönteisten kasvatusta voi olla kestävämpi vaihtoehto ja kaikki ympäristötekijät huomioiden mahdollisesti myös edullisempi vaihtoehto kuin perinteinen lihan tai rehun tuotanto.

Hyönteiset tarvitsema vesimäärä on vain osa siitä, mitä tarvitaan perinteisessä karjankasvatuksessa. Hyönteiset ovat ekologinen proteiininlähde, jos niiden ruokinnassa voidaan käyttää ihmisen tai muiden tuotantoeläimien ravinnoksi sopimattomia tai tarpeettomia kasvintähteitä, jotka eivät muuten päätyisi hyötykäyttöön. Käyttämällä hyönteisten kasvatuksessa rehuna elintarviketeollisuuden orgaanisia sivuvirtoja, tai kauppojen, ravintoloiden ja elintarviketeollisuuden ruokajäämiä, voidaan tuottaa arvokasta proteiinia ja samalla kaatopaikoista aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt voivat vähentyä (van Huis ym. 2013). Tuotannon ympäristöystävällisyyden näkökulmasta on kuitenkin olennaista, että tällaiset rehuksi hyvin sopivat sivuvirrat ensin tunnistetaan.

Rehuhyötysuhde kertoo kuinka paljon rehua (kg) tarvitaan yhden lihakilogramman tuottamiseen. Rehuhyötysuhde on erilainen eri tuotantovaiheissa ja eri eläinlajeilla ja siihen vaikuttaa myös tuotantotapa. Rehuhyötysuhde myös muuttuu ajan kuluessa muun muassa eläinjalostuksen ja tuotantotapojen kehityksen vuoksi. Näiden tekijöiden vuoksi rehuhyötysuhde vaihtelee myös maakohtaisesti.

Hyönteiset ovat tasalämpöisiä eläimiä tehokkaampia muuttamaan rehua eläinvalkuaiseksi ja rasvaksi. Hyönteisten rehuhyötysuhteen on todettu joissain kokeissa olevan parempi kuin tasalämpöisillä tuotantoeläimillä (Diener ym. 2009, Nakagaki ja Defoliart 1991, Collavo ym. 2005, Offenberger 2011, Slansky

1985). Hyönteisten tehokkuus rehunkäyttäjänä perustuu ilmeisesti juuri siihen, että ne ovat vaihtolämpöisiä, joten ruumiinlämmön ylläpitoon kuluu vähemmän energiaa (Oonincx ym. 2015a). Hyvään rehuhyötysuhteeseen yltäminen kuitenkin edellyttää, että tuotanto saadaan järjestettyä niin, että hyönteiset kasvavat hyvin ja ovat elinvoimaisia.

Kotisirkan rehuhyötysuhteelle on saatu erilaisia arvoja, riippuen rehun koostumuksesta 0,9–1,1 (Nakagaki ja deFoliart 1991) ja 1,7 (kg rehua/tuotettu kg sirkkaa, tuorepainoa) (Collavo ym. 2005). Rehuhyötysuhteen erilaisuuteen näissä kokeissa vaikuttaa se, että jälkimmäisessä kokeessa sirkkoja kasvatettiin pidempään kuin Nakakin ja DeFoliartin (1991) kokeessa (21 vs. 45 päivää). Oonincx ym. (2015a) kotisirkkujen ruokintatutkimuksissa rehuhyötysuhde oli 2,3–6,1 (kg rehua/tuotettu kg sirkkaa, tuorepainoa). Oonincx ym. (2015a) mukaan syy huonoihin rehuhyötysuhteisiin kotisirkkujen kasvatuskokeessa oli mahdollisesti vedensaannin riittämättömyys tai kotisirkkoina vaivaava sairaus.

Jotta kotisirkkujen kasvatuksessa päästään hyvään rehuhyötysuhteeseen, on tehokas tuotantotapa tuotantotapa tunnistettava. Kotisirkan kasvatustila ja ryhmä koko todennäköisesti vaikuttavat rehuhyötysuhteeseen. Nakagaki ja Defoliard (1991) kotisirkkujen kasvatuskokeessa sirkkoja kasvatettiin 10 yksilön ryhmissä, joissa oli tilaa 14,4 cm² sirkkaa kohden. Rehuhyötysuhde oli tässä kokeessa 1,08 ja 1,35 kg rehua/kg sirkkoja (100 % ja 80 % hyödynnettävää biomassaa kohden). Lundyn ja Parrellan (2015) kokeessa samassa kasvatusastiasissa oli sirkkoja noin 32 900 kpl ja eläntiheys oli noin 5,25 cm², joka on lähes kaksinkertainen verrattuna kotisirkkujen vähimmäistilantarpeeseen (2,5 cm²) (Patton 1978). Lundyn ja Parrellan (2015) kokeessa rehuhyötysuhteeksi saatiin 1,47 tai 1,84 kg rehua/kg sirkkoja (100 % tai 80 % hyödynnettävää biomassaa kohden). Kokeessa käytettiin kananrehua. Mikäli otetaan huomioon syömätön rehu ja vähennetään se kulutetusta kokonaisrehumäärästä, saadaan hieman paremmat rehuhyötysuhteiden arvot, eli 1,34 ja 1,68 rehua/kg sirkkoja (100 % ja 80 % hyödynnettävää biomassaa).

Lundyn ja Parrellan (2015) kokeessa rehuhyötysuhde oli huonompi kuin aikaisemmissa kotisirkoilla tehdyissä kokeissa. Lundyn ja Parrellan (2015) mukaan tämä johtuu siitä, että tässä kokeessa sirkkoja kasvatettiin suuremmassa mittakaavassa ja tiheämmässä kuin aikaisemmin raportoiduissa kokeissa. Todennäköisesti suuremmassa kasvuympäristössä kotisirkkujen aineenvaihduntaan kuluu enemmän energiaa kuin pienemmissä tiloissa, koska esim. matka ruokinta-astialle tai veden ääreen on suurempi. Lundy ja Parrella (2015) mukaan biomassan lisääntymisnopeuteen vaikutti voimakkaasti rehun laatu ($p < 0.001$), typpipitoisuus (N), typpipitoisuuden ja happoliukoisen kuidun (ADF) suhde, raakasvapiitoisuus (CF). Näiden yhteisvaikutus voidaan laskea kaavalla $y = [N/ADF] + CF$. Tämä vaikutus selitti useimmat ruokintakäsittelyjen väliset vaihtelut ($p = 0.02$, $R^2 = 0.96$).

Suuri ero rehuhyötysuhteessa voi olla seurausta myös siitä, että lämpötila ja ilmankosteus olosuhteet vaihtelivat enemmän Lundyn ja Parrellan (2015) kokeissa kuin Nakagakin ja DeFoliartin (1991) kokeissa. Vaikka Lundyn ja Parrellan (2015) kokeessa keskimääräinen lämpötila (29.0 ± 2.1 SD °C) ja suhteellinen ilmankosteus % (67.2 ± 14.7 SD) olivat lähellä kotisirkalta määriteltäviä ihanteellisia olosuhteita, olosuhteet kasvihuoneessa olivat todennäköisesti kuitenkin vaihtelevammat kuin Nakagakin ja DeFoliartin (1991) kokeissa, jotka tehtiin laboratorio-olosuhteissa. Ympäristön lämpötila nimittäin vaikuttaa ratkaisevasti hyönteisten rehuhyötysuhteeseen (Roe ym. 1985). Kotisirkan viimeinen nymfivaihe söi enemmän ja kasvoi hitaammin 25 °C:ssa kuin 35 °C:ssa. Viimeiseen nymfivaiheen kesto muuttui 6 päivästä 14 päivään (25 vs. 35 °C), jolloin kasvuaikana kului enemmän happea ja muodostui enemmän hiilidioksidia. Samansuuntaisia tuloksia ovat saaneet myös Boothin ja Kiddellin (2007) kotisirkkujen kasvatuksesta 25 tai 28 °C:ssa. 25 °C:ssa kasvu oli hitaampaa, kehitysaika pidempi ja energiaa kului kaksi kertaa enemmän kuin kasvatettaessa kotisirkkoina 28 °C:ssa. Alemmassa lämpötilassa (25 °C) kasvatettaessa aikuisten sirkkojen paino oli kuitenkin suurempi kuin korkeammassa lämpötilassa (28 °C) kasvatettaessa (Rumpold ja Schlüter 2013a).

Jauhomatojen ruokintakokeessa, jossa rehujen raaka-aineena käytettiin sivuvirtoja, rehuhyötysuhde vaihteli 3,8–19,1 riippuen rehun koostumuksesta (Oonincx ym. 2015a). Näissä rehuhyötysuhteen arvoissa on mukana vedenlähteenä käytetty porkkanaa. Jos rehuhyötysuhde lasketaan rehulle ilman porkkanaa, rehuhyötysuhde vaihtelee 1,8:sta (korkea proteiinipitoisuus, korkea rasva-rehu-pitoisuus) 3,1:een (korkea proteiini, matala rasva-rehu). Nämä jälkimmäiset rehuhyötysuhteet ovat samansuuruisia kuin aikaisemmissa jauhomatojen ruokintakokeissa saatu rehuhyötysuhde 2,2, joissa oli porkkanaa tuorerehuna (Oonincx ja de Boer 2012). Oonincx ym. (2015a) ruokintakokeessa myös kotisirkkojen rehuhyötysuhde oli samaa suuruusluokkaa (2,3), joten tässä ruokintakokeessa jauhomadot ja kotisirkat olivat yhtä tehokkaita muuntamaan rehua ravinnoksi ihmiselle kuin siipikarja.

Oonincx ym. (2015a) ruokintakokeessa mustasotilaskärpäsen toukkien rehuhyötysuhde oli huomattavasti parempi (1,4–2,6) ja vaihteli vähemmän kuin jauhomatojen tai kotisirkkojen rehuhyötysuhde. Syötettäessä mustasotilaskärpästen toukille rehua, jossa oli matala proteiinipitoisuus, rehuhyötysuhde oli suuntaa antavasti ($P = 0,051$) huonompi kuin rehuilla, joissa oli korkeampi proteiinipitoisuus.

Tuotannon tehokkuuteen vaikuttaa myös se, miten suuri osuus tuotetusta eläimestä voidaan käyttää ravinnoksi. Ravinnoksi käytettävän painon osuus kokonaispainosta on erilainen tavanomaisilla tuotantoeläimillä ja hyönteisillä. Flachowsky (2002) mukaan siipikarjalla ja sialla molemmilla ravinnoksi käytettävä osuus on 60 % elopainosta, mutta naudalla ravinnoksi käytettävä osuus on vain 40 % (Smil 2002). Viimeisessä nymfivaiheessa olevat sirkat voidaan syödä kokonaisena, jolloin ravinnoksi käytettävä osuus on 100 %. Jos sirkoilta poistetaan jalat (17 %), ravinnoksi käytettävä osuus on 83 % kokonaispainosta. Jos sirkoilta poistetaan myös kitiinipitoinen ulkokuori (3 %), joka on vaikeasti sulavaa, syötävän painon osuus on 80 % (Nakagaki ja deFoliart 1991, van Huis 2013). Miech ym. (2017) sulavuuskokeessa kenttäsiirkkojen (*Teleogryllus testaceus*) jakojen poistaminen ei vaikuttanut sirkkajauhon sulavuuteen porsailla.

Jos edellä mainittuja rehuhyötysuhteita hyväksi käyttäen lasketaan rehuhyötysuhde ravinnoksi kelpaavalle osuudelle painosta, havaitaan että sirkat ovat tehokkaampia tuottamaan syötäväksi kelpaavaa ravintoa kuin perinteiset tuotantoeläimet (van Huis 2013). Jos puolestaan tarkastellaan tuotantoeläinten tuottamaa proteiinin määrää, proteiinin määrä on samaa suuruusluokkaa sekä perinteisillä tuotantoeläimillä että hyönteisillä. Siipikarja-, sian- ja naudanlihassa proteiinia on 200, 150 ja 190 g/kg (Flachowsky 2002) ja kotisirkassa 154–205 g/kg (Finke 2002).

2.4. Hyönteisten kasvatuksen työvaiheet

Hyönteiskasvatuksen tuotantoprosessin vaiheet ovat (Heiska ja Huikuri 2017))

- 1) Munien tuotanto, johon sisältyy
 - a. Aikuisten tuottaminen
 - b. Paritus ja munitus
 - c. Inkubaatio
 - d. Toukkien tai nymfien keruu
- 2) Kasvatus, johon sisältyy
 - a. Ruokinta
 - b. Juotto
 - c. Lopetettavien keruu
 - d. Erottelu
 - e. Puhtaanapito
- 3) Lopetus, johon sisältyy
 - a. Pakastus
 - b. Muut käsittelyt
- 4) Tuotteen käsittely, johon sisältyy

- a. Esikäsittely
- b. Prosessointi
- c. Varastointi
- d. Pakkaus.

2.5. Tuotantotilassa hygieniä ja tautisuojaus

Hyönteisten kasvattamisen suosio elintarvikkeiksi ja rehuksi on lisääntynyt sen jälkeen, kun Suomi tulkitse uudelleen EU:n elintarvikeasetusta liittyen kokonaisuun hyönteisiin. Asetuksen uusi tulkinta mahdollistaa hyönteisten myymisen kokonaisina kuluttajille (Ruokavirasto 2019). Viime aikoina hyönteisten kasvattamiseen liittyen on julkaistu oppaita. Kuitenkin tieto hyönteisten kasvattamiseen liittyvistä hygieenisistä näkökohdista on rajallista, eikä edelleenkaan ole olemassa vakiintuneita hyönteiskasvat-
tajille suunnattuja menettelytapoja hyönteisten käsittelyyn (Dobermann ym. 2017).

Tämä luku keskittyy sirkkojen hygieeniseen kasvattamiseen. Lisäksi se ottaa huomioon rakennuksen hygieeniseen suunnitteluun liittyvät näkökulmat. Näin ollen luku tarjoaa suuntaviivat kasvattajille, jotka haluavat aloittaa pienen mittakaavan kotisirkkakasvatuksen. Hygieniä-aihetta on käsitelty European Hygienic Engineering & Design Groupin (EHEDG:n) asiakirjassa 44 hygieenisen suunnittelun periaatteista elintarviketehtaille, joka on suunnattu pääasiassa suuren mittakaavan tuotantoon (EHEDG 2014). Opas sirkkakasvattamon perustamiseen on julkaistu Helsingin yliopiston Ruralia-instituutin Raportteja-sarjassa (Mellberg ja Wirtanen 2018). Hyönteiset uutena elintarvikeryhmänä aiheuttaa myös haasteita: tutkimusta tuoteryhmästä on rajallisesti, eikä kaikkia riskejä vielä tunneta. Hyönteisten kasvatus luokitellaan alkutuotantoon. Tämä luku perustuu yleisiin ohjeisiin elintarvikkeiden hygieenisestä tuottamisesta alkutuotannossa. Nämä ohjeet pyrkivät laittamaan täytäntöön alkutuotannon hygieniohjeet soveltamalla niitä hyönteisten käyttämiseen elintarvikkeena ja rehuna.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen 178/2002/EY (annettu 28.1.2002) mukaisesti yleisistä periaatteista ja vaatimuksista elintarvikelaissa alkutuotanto elintarviketeollisuudessa määritellään tuotannoksi, kasvattamiseksi ja viljelemiseksi, joka sisältää sadonkorjuun, lypsämisen, teurastamisen, kananmunan tuotannon ja hyönteisten kasvattamisen. Alkutuotanto sisältää myös luonnonvaraisten eläinten metsästyksen ja kalastuksen. Tuotteiden kuljetus, käsittely ja varastointi katsotaan myös osaksi alkutuotantoa niin kauan, kuin tuotteiden luonne ei muutu (Evira 2018a). Kuvassa 1 on eroteltu alkutuotannon tuotantovaiheet ruoan prosessoinnista (Dobermann ym. 2017).

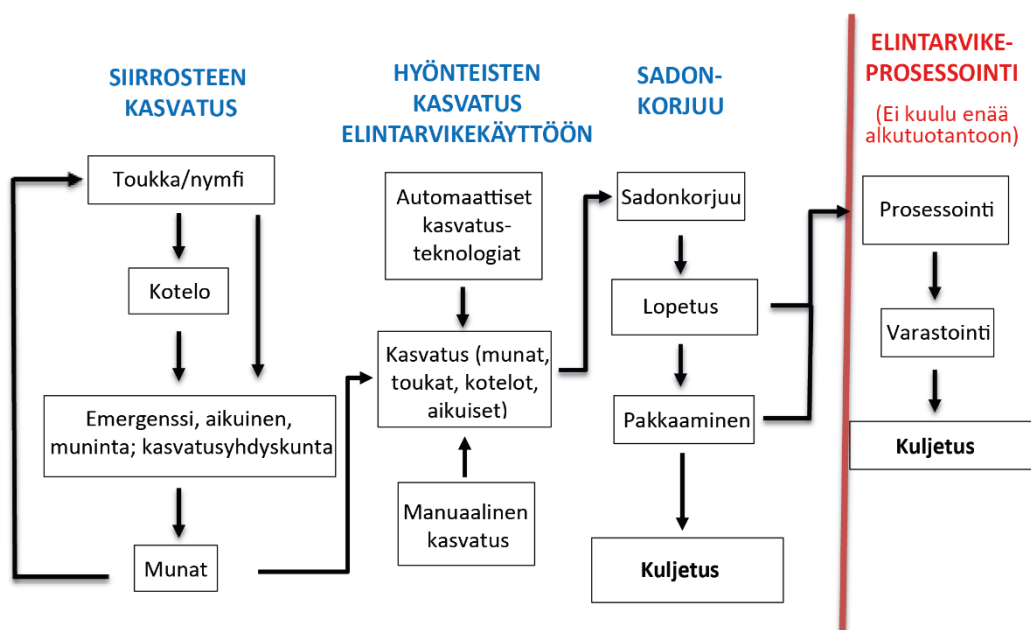
Eläviä hyönteisiä, hyönteiselintarvikkeita ja hyönteistuotteita saa tuoda EU:n alueelle vain hyväksyttyjen, eläinlääkinnällisten rajatarkastusasemien kautta. Mehiläisiä ja kimalaisia voidaan tuoda vain tiettyistä maista ja vain tiettyjä lajeja. Muiden elävien hyönteisten, kuin mehiläisten ja kimalaisten, tuonti on sallittu kaikista kolmansista maista. Haitallisten vieraslajien tuonti ei kuitenkaan ole sallittua (Evira 2018b). Tuotavien hyönteisten on kuitenkin läpäistävä hyväksytysti pakolliset eläinlääketieteelliset rajatarkastukset, jotta ne pääsevät EU:n alueelle.

Toimijan vastuulla on huolehtia hyönteisten hygieenisestä elintarviketuotannosta, ehkäistä tautien leviäminen, sekä ilmoittaa mahdollisesta tartuntatautiepäilystä, jos tällainen havaitaan (Evira 2018b). Hyönteisten tuottaminen elintarvikkeiksi on saman lain alaisuudessa kuin muu elintarviketuotanto, ja sitä säändellään Euroopan Unioni ja kansallisten lakien kautta.

Bakteeri- tai virusperäisten riskien esiintymisen riski hyönteistilalla on samansuuruinen tai alempi verrattuna muihin eläinperäisiin proteiinin lähteisiin niin kauan, kun hyönteisiä ruokitaan puhtaalla kasvualustalla, joka ei ole peräisin ihmisistä tai märehtijöistä. Hyönteisten nauttiminen saattaa kuitenkin aiheuttaa allergisia reaktioita hyönteisten tukirangassa olevan kitiinin takia (Finke ym. 2015).

Tuotantolaitoksessa on kiinnitettävä huomiota hyvään hygieeniseen suunnitteluun ja rakentamiseen, tarkoituksenmukaiseen rakennuksen sijaintiin ja asianmukaiseen tilojen järjestämiseen. Tämä on välttämätöntä, jotta riskejä voidaan hallita tehokkaasti. Tuotantolaitos, mukaan lukien elintarviketilat, rakennukset ja välineet, on sijoitettava, suunniteltava ja rakennettava siten, että (EHEDG 2014):

- kontaminaatio on minimoitu
- toteutus mahdollistaa asianmukaisen kunnossapidon, puhdistuksen ja desinfioinnin. Myös ilman kautta leviävä kontaminaatio on minimoitava.
- pinnat ja materiaalit, erityisesti elintarvikekosketuspinnat, ovat myrkyttömiä, käyttötarkoitukseen soveltuvia, sekä riittävän kestäviä ja helppoja pitää puhtaana ja kunnossa.
- lämpötila, ilmankosteus ym. ovat säädettävissä tarkoituksenmukaisesti,
- haittaeläinten pääsy tuotantotiloihin ja pesiminen niissä on estetty.



Kuva 1. Hyönteiskasvatuksen vaiheet. Alkutuotannon tuotantovaiheet näkyvät sinisenä ja ruoan prosessointi punaisena (Dobermann ym. 2017)

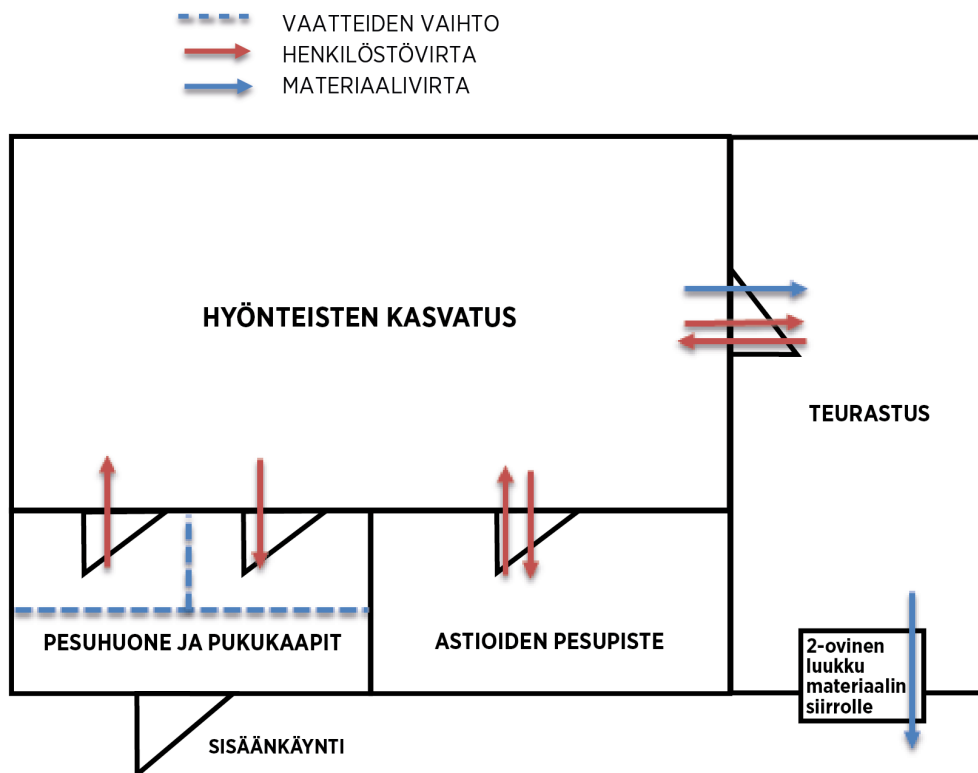
2.5.1. Kasvattamon sijaintipaikka

Kasvattamon sijaintipaikka tulisi olla etäällä teollisen toiminnan aiheuttamasta saastumisesta, sekä avoimista vesilähteistä, jotka saattavat houkuttaa lintuja, jyrsijöitä ja luonnonvaraisia hyönteisiä. Nämä vahingoittavat sirkkojen kasvatusta. Haittaeläimiltä suojautumiseksi sirkkakasvattamo tulisikin sijoittaa riittävän kauas niityistä ja metsistä (EHEDG 2014). Kaatopaikkoja tulee myös välttää. Luonnonvaraisten ja kasvatettujen hyönteisten sekoittuminen voi johtaa patogeeniseen saastumiseen tai ekosysteemin tuhoutumiseen joko kasvattamon sisä- tai ulkopuolella. Luonnonvaraiset hyönteiset eivät ole tervetulleita hyönteiskasvatustiloihin, eivätkä elintarvikeprosesseihin. Luonnonvaraiset hyönteiset määritellään tuhoeläimiksi muiden tuholaisten, esimerkiksi jyrsijöiden ohella. Jotta voidaan minimoida luonnonvaraisten hyönteisten parveilu valaisimien ympärillä, on kaikki sisäänkäynnit ja kulutiet valaistava asiaankuuluvasti. Tuotantotilan ulkovalaistus tulee sijoittaa etäälle rakennuksen sisäänkäynneistä, jotta vältetään ulkoa tulevien hyönteisten houkuttelemisen sisäänkäyntien läheisyyteen. Ulospäin loistavat valot houkuttelevat hyönteisiä rakennukseen, kun ulkona on pimeää (EHEDG 2014).

Sijaintipaikka-suunnitelma on hyödyllinen työkalu uuden kasvattamon suunnitteluun. Suunnitelman pitäisi ottaa huomioon riskien hallinta osana Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP)-järjestelmän käytänteitä (EY 178/2002, Evira 2017a).

Aitojen ja muurien päätehtävä on pitää paikka turvallisena ei-toivotuilta eläimiltä ja ihmistoiminnalta (EHEDG 2014). Raja-aita tai muuri tulisi rakentaa betonista tai tiilistä, ja sen perustus tulisi olla maanpinnan alapuolella. Näin estetään sekä jyrksijöiden että tulvaveden liikkeitä. Aidan tulisi muodostaa este luonnonvaraisille ja kotieläimille, esimerkiksi jyrksijöille mutta myös kissoille ja koirille.

Sirkkojen kasvatusta on tilaa säästävää toimintaa ja sen takia helppo toteuttaa (van Huis ym. 2013). Yleinen tapa perustaa kasvatuspaikka on jo olemassa olevien rakennusten, esimerkiksi sikaloiden käyttämättömien huoneiden muuttaminen tai siirrettävien konttien käyttäminen sirkkakasvattamoina (de Sousa ym. 2018). Kun arvioidaan rakennuksen soveltumista sirkkojen kasvatukseen, (EHEDG 2014) tulee huomioida, että rakennuksen lattioiden tulisi olla ympäröivää maanpintaa korkeammalla tasolla. Tällä tavoin sitä voidaan varjella veden kertymiseltä ja saastumiselta. Lisäksi laitteistojen ja muiden huoltoon liittyvien rakennelmien yläpuolella, alapuolella ja ympärillä tulee olla riittävästi tilaa, jotta siivoaminen ja kunnossapito on mahdollista tehdä vaivattomasti. Virrat, esim. henkilökunta, rehu, jätteet ja hyönteiset, rakennuksissa on suunniteltava siten, että ristikkäinen kontaminaatio voidaan minimoida (kuva 2).



Kuva 2. Esimerkki sirkkakasvattamosta, jossa henkilöstön ja materiaalin virrat otetaan huomioon.

Rakennuksen suunnittelussa on huomioitava fyysiset, kemialliset ja biologiset tekijät, joilla estetään kontaminaatioita kuten luonnonvaraiset hyönteiset, mikrobit, pöly ja kosteus. Tämä tavoite saavutetaan (EHEDG 2014):

- estämällä saastuttajien pääsy ovista, ikkunoista ym. pitämällä ikkunat suljettuina tai käyttämällä hyönteisten kestäviä hyttysverkkoja ja/tai itsestään sulkeutuvia mekanismeja.

Suodatinjärjestelmällä varustetut ilmanottoaukot tulee olla asianmukaisesti sijoitettu kattoon. Katto, seinät ja perustukset on pidettävä kunnossa vuotojen estämiseksi.

- estämällä haittaeläinten, kuten lintujen ja luonnonvaraisten hyönteisten, sisäänpääsy ja pesiminen. Reiät, viemärit ja muut vastaavat kohdat, joissa pesimistä voi tapahtua, esim. harvoin käytössä olevat aukot on pidettävä suljettuina.
- varmistamalla, ettei tilassa mahdollisteta rakennelmia tai varustuksia, jotka voisivat tarjota mikrobien lisääntymiselle ja leviämislle suotuisat paikat.
- vähentämällä ristiinsaastumista erottamalla toisistaan ilma-, henkilökunta-, tarvike-, tuote- ja jätevirrat.
- erottamalla omat varastotilat raaka-aineille, pakkausmateriaaleille, kuiville tai jäädytetyille tuotteille, pakasteille, ja myös siivousvälineille- ja aineille. Näiden alueiden on täytettävä muut turvallisuuslait ja direktiivit. Esimerkiksi puhdistus- ja desinfiointiaineet tulee pitää lukuissa kaapeissa.
- huolehtimalla asiaankuuluvista lämpötiloista ja valvomalla kyseisiä lämpötiloja huoneessa, jossa sirkkoja kasvatetaan sekä pakastimissa, joissa sirkat lopetetaan ja varastoidaan.
- ylläpitämällä harvoja sisään- ja uloskäyntejä henkilökunnalle, huomioimalla kuitenkin turvallisuus ja hätäulosvaatimukset tulipalojen varalta. Näin estetään ihmisten välityksellä tapahtuvaa ylimääräistä kontaminaation riskiä.

2.5.2. Sisätilojen jakaminen

Hyönteisten kasvattaminen on pidettävä erillään muusta toiminnasta (EHEDG 2014). Elintarvikeprosessissa toimivien tulee aina olla tietoisia siitä, ettei kasvatettuja hyönteisiä päästetä luontoon tai muihin tiloihin. Elintarviketuotannossa kaikkia niitä alueita, joissa ei millään tavalla käsitellä elintarvikkeita, kutsutaan ”elintarviketuotantoon kuulumattomiksi alueiksi”, näihin kuuluvat toimistot, ruokailutilat, pukuhuoneet ja vessat. Itse sirkkojen kasvatusalue on pidettävä erillään elintarviketuotantoon kuulumattomista tiloista. Hyönteisten kasvatushuoneen yhteydessä olevat pukuhuoneet, vessat ym. tulee näin ollen sijoittaa kasvatushuoneen ulkopuolelle.

Elintarvikkeiden käsittelytila on erotettu kolmen hygieniatason vyöhykkeeseen. Hyönteisten kasvatus-tilalla perushygieniä on pääasiallinen vyöhyke, joka on myös alkutuotannon hygieniakriteeri (EHEDG 2014). Rakennuksen suunnittelu perusvyöhykkeellä voi olla yksinkertainen, esimerkiksi tasaiset betonilattiat, ruostumattomia teräspintoja ja luonnollinen, suojattu ilmanvaihto ja hyvä valaistus. Alkutuotannon on täytettävä perushygienian kriteerit, kuten myös perustason Good Manufacturing Practices (GMP)-kriteerit. Kun tuote on kulkenut perushygieniavyöhykkeen läpi, kuten hyönteisten kasvattamisen ja lopettamisen jälkeen, se jatkaa jatkojalostukseen, jossa on sovellettava keski- ja korkean hygieniakriteerin tasoja. Tämä käsittää raakojen, vielä valmistamattomien hyönteisten jalostamisen elintarviketuotteiksi. Näillä alueilla hygieniset toimet tuotantolaitoksessa ovat yhtä lailla riskien leviämisen estämistä toisille, puhtaammille alueille, kuin myös saastumisen estämistä jalostusympäristöstä itse tuotteisiin (EHEDG 2014).

Sirkkojen kasvatusvälineistö on suunniteltava, rakennettava ja asennettava niin, jotta se ei aiheuta elintarvikkeen saastumista, ovat helppoja pitää puhtaana, eikä tarjoa suojaa tuholaisille (EHEDG 2014). Lisäksi välineiden ja seinän, lattian, sisäkaton ja oven välillä tulee olla riittävästi tilaa, jotta estetään liian kerääntyminen ja helpotetaan siivousta, kunnossapitoa ja tarkastusta. Tiloja työvälineiden ja -kalujen puhdistusta ja desinfiointia varten ja laitteiden varastointitiloja tulisi olla erillään tuotantotiloista, elintarvikkeiden varastoinnista, sekä jalostus- että pakkaustiloista, jotta estetään kontaminaatio (EHEDG 2014, Wirtanen ja Salo 2014, Aarnisalo ym. 2006). Laitteita ja välineitä ei tule asettaa suoraan lattiakaivojen yläpuolelle. Elintarvikkeiden varastointialue tulee olla suunniteltu siten, että se mahdollistaa asiaankuuluvan kunnossapidon ja puhdistuksen, estää haittaeläinten pesiytymisen ja suojelee elintarvikkeita saastumiselta. Kuivat ja kosteat tilat on erotettava toisistaan (EHEDG 2014).

Kasvualustan tai muiden sirkkakasvattamossa käytettävien materiaalien ei tulisi vaarantaa elintarviketurvallisuutta. Kasvatuksessa käytettävien materiaalien tulee olla hyvälaatuisia ja puhtaita (Ruokavirasto 2019). Tämän takia sirkkojen kasvualustana yleisesti käytettyjä kartonkisia kananmunakennoja ei saa käyttää uudelleen, vaan ne on toimitettava jätekeräykseen tai hävitettävä polttamalla.

Hyönteisiä on mahdollista kasvattaa luonnonmukaisilla sivuvirroilla ja siten lisätä biomassojen arvoa (van Huis ym. 2013). Sivuvirrat voivat koostua elintarviketeollisuuden sivutuotteista kuten kasvien, hedelmien ja viljan ylijäämistä (Evira 2018b). Hyönteisiä ei voi ruokkia eläinperäisillä sivutuotteilla tai lannalla. Hyönteisten ravintona ei myöskään voi käyttää ihmisiltä ylijääneitä ruoantähteitä. On kuitenkin mahdollista käyttää pitopalveluiden ja ravintoloiden kasvisperäisiä ylijäämätuotteita, joita ei ole tarjottu asiakkaille. Pilaantuneet ruoat esim. homeiset kasvikset eivät sovellu hyönteisten ravinnoksi.

2.5.3. Rakennuksen perusosat

Hyvin rakennettu, käyttövarma rakennus tarvitsee vakaan perustuksen, joka on tarkoituksenmukainen suhteessa maaperätyyppiin ja rakenteiden kuormaan. Vakauden varmistamiseksi ja kaivavien jyrsijöiden ehkäisemiseksi, perustuksen tulisi olla vähintään 60 cm maanpinnan alapuolella ja päällystetty esimerkiksi vedenpitävällä asfaltilla. Perustus tulisi suunnitella L:n muotoiseksi ja täyttää betonilla.

Mikrobit voivat levitä huonosti hoidetuilta katoilta. Tämän vuoksi myös kaikenlaista henkilökunnan välityksellä, ilmanvaihtokanavien kautta tai katolta tapahtuvien vuotovahinkojen aiheuttamaa kontaminaatoriskiä on myös hallittava (EHEDG 2014). Katon tulee olla kaltevuudeltaan vähintään 1–2 %, jotta varmistetaan veden poistuminen. Tasakatto voi houkutella lintuja vaakasuorien pintojen takia. Lintupiikkejä voi käyttää pesimisen estämiseksi. Pääsy katolle tulee olla estetty niin, että sinne pääsee vain rakennuksen ulkopuolelta. Lisäksi katon on kestävä vaihtelevia sääolosuhteita, lisääntyvää ympäristön saastumista, rakenteellis-fysikaalista altistumista sekä mekaanista kuormitusta. Eristetty tuplakatto suojaa sirkkoja lämpötilan vaihteluilta. Eristetty katto myös vähentää kasvattamon sisäpuolella tapahtuvaa kosteuden tiivistymistä. Tiivistymistä tapahtuu silloin, kun kylmä ilma kohtaa lämpimämmän materiaalin.

Ulkoseinien on oltava sään, veden, hyönteisten ja jyrsijöiden pitäviä (EHEDG 2014). Seinien tulee olla hyvin eristetyt ja helppoja puhdistaa, eikä niissä saa olla kylmiä siltauksia. Vaakasuorien tasojen ylä- tai alaosissa olevien ulokkeiden määrää on vähennettävä, sillä ne voivat mahdollisesti tarjota suojapaikan linnuille, hyönteisille tai jyrsijöille. Sisäseinien tulee olla hygieenisia, tasaisia, ilman halkeamia, sekä mikrobisaastuntoja ehkäiseviä. Liitoskohdat tulee olla kunnolla tiivistetty. Hyväksyttyjä seinämateriaaleja sirkkojen kasvatukseen ovat esim. lasitetut kaakelit ja elementtirakenteiset lämpöeristävät paneelit. Mikäli seinä on valmistettu kaakeleista, täytyy kaakeleiden välisen saumauksen olla kestävä ja ei-imukykyisestä materiaalista. Epoksi on eräs ei-huokoinen, hygieeninen saumauksessa käytetty materiaali. Vaurioiden ja lian havaitsemiseksi seinien on hyvä olla väreiltään vaaleita. Mikäli seinä maalataan, on käytettävä elintarviketuotannon rakennuksiin hyväksyttyä väriainetta. Seinien väliset, seinän ja sisäkaton väliset, sekä seinän ja lattian väliset liitoskohdat ja kulmat on pyöristettävä. Vaakasuoria pintoja ja ikkunalautoja on syytä välttää sisätiloissa, koska niiden pitäminen puhtaana on vaikeaa ja ne keräävät likaa ja pölyä.

Lämmön karkaaminen, kosteuden tiivistyminen ja äänten vähentäminen ovat tärkeimmät syyt seinien lämpöeristämiseen (EHEDG 2014). Kotisirkat menestyvät lämpimässä elinympäristössä, jossa lämpötila on 30 °C asteen paikkeilla. Se on korkeampi kuin useilla muilla maatilan eläimillä, joten eristäminen on hyvä keino sisälämpötilan ylläpitämiseen (Horppu ym. 2017). Eristeiden täytyy kuitenkin olla vedenpitäviä ja ne täytyy tarkastaa säännöllisesti, jotta varmistetaan niiden pysymisestä kuivana. Seinät eivät saa olla imukykyisiä eikä niissä saa olla halkeamia.

Lattiat ovat saastumisen näkökulmasta kriittisiä alueita (EHEDG 2014). Esimerkiksi *Listeria monocytogenes* -biofilmejä löytyy todennäköisimmin märiltä pinnoilta mukaan lukien lattioilta. Lattioiden tulee olla helposti puhdistettavissa ja milloin tarpeellista, desinfioitavissa. Huonon hygienian taustalla voi olla rakenteellisia ratkaisuja, kuten 1) epäonnistunut lattioiden asentaminen, esimerkiksi tiivistysaineen ja kaakeleiden välillä, 2) laiminlyönnit lattioiden liitoskohdissa, esim. aukot lattiakaivojen ja lattian välillä, 3) epäonnistuneet valinnat lattiamateriaaleissa, 4) väärät lattiakaadot sekä 5) huomioiotta jäänyt tilan loppukäyttö. Sirkkakasvattamojen puhdistus eroaa muusta alkutuotannosta, koska on tärkeää estää hyönteisten karkaaminen (Evira 2018b), tämän takia kaikki lattiakaivot on sijoitettava kasvatushuoneen ulkopuolelle (EHEDG 2014).

On useita erilaisia lattijärjestelmiä, jotka ovat tarkoituksenmukaisia pienen mittakaavan hyönteiskasvatustoimintaa varten. Tärkeintä lattiamateriaalin valinnassa on ottaa huomioon se, että materiaali kestää kulutusta ja ettei se ole imukykyistä (EHEDG 2014). Päälysteen virheet voivat heikentää tilan hygieenisyyttä. Betonilattiat soveltuvat perushygieniatason tiloihin ja ovat hyväksytyjä hyönteiskasvatukseen, mutta sen huokoisen luonteen takia se ei ole puhdistettavissa, eikä sovellu elintarvikkeiden ja juomien käsittelyyn. Sementtiset ja erittäin kaltevat hartsilattiat ovat usein huokoisia ja voivat olla erittäin lyhytikäisiä, kun taas kaakeli on hyvä, puhdistettavissa oleva vaihtoehto hyönteisten kasvatukseen. Kaakelit toimivat hyvin kosteissa tiloissa. Mitä pienempiä liitoskohtia kaakelilattiassa on, sitä paremmin kaakelit kestävät märissä tai kosteissa tiloissa. Laattalattiat, esimerkiksi vinyyli, linoleumi ja kumi voivat myös olla sopivia pienen mittaluokan tiloissa. Tällöin tehokas liitoskohtien tiivistäminen on ratkaiseva, koska terävän esineen pudotessa ne halkeavat helposti. Seinän ja lattian välinen liitoskohta on kriittinen alue hygienian näkökulmasta. Sen on oltava pyörästetty, jotta ehkäistään lian kerääntyminen ja mahdollistetaan helppo puhdistaminen. Lisäksi liitoskohdan on estettävä veden pääsy seinän sisään. Suojareunusta, joka on paksu reunus seinän ja lattian liitoskohdassa, voidaan käyttää suojaamaan seinää vahingoilta, ja pitää ne tällä tavalla hygieenisinä (EHEDG 2014).

Tuki- ja kehysrakenteet on suunniteltava siten, että ulkonemat on karsittu sekä lian ja pölyn kerääntyminen minimoitu (EHEDG 2014). Pyöreät, putkilomalliset rakenteet, esimerkiksi kaiteet on hitsattava siten, ettei niihin jää aukkoja ja avoimet loppupääät sinetöitävä esimerkiksi hitsatulla levyllä/laattalla. On suositeltavampaa käyttää lattiamateriaalina turkkilevyä avonaisen metalliristikkolattian sijaan, koska se on helpompi pitää puhtaana.

Sisäkatto on rakennettava siten, että estetään lian kerääntyminen ja vähennetään tiivistymistä ja hiukasten varisemista (EHEDG 2014). Kuten seinän ja lattian liitoskohdissa, seinän ja sisäkaton liitoskohdat täytyy myös olla pyörästetty, jotta puhdistaminen helpottuu ja estetään lian kertyminen ja halkeamien muodostuminen. Reíitetyt ja huokoisia sisäkattoja ei yleisesti tulisi käyttää äänten vaientamiseen, esimerkiksi melun vähentämiseen, koska materiaali kerää pölyä. Kipsilevyjä ei myöskään pidä käyttää märissä tai kosteissa tiloissa niiden huokoisuuden takia.

2.5.4. Sisätilojen suunnittelu

Jotta koko kasvattamolla voidaan ylläpitää hyvää hygieniää, on tärkeää käyttää oikeita pintamateriaaleja, erityisesti kasvatushuoneessa, jossa sirkkoja pidetään. Ruostumaton teräs, kuumapotenttu galvanoitu teräs, alumiini, lasikuitu, polyvinyylikloridi ja nailon ovat esimerkkejä elintarviketuotannossa hyväksytyistä materiaaleista (EHEDG 2014). Nämä materiaalit ovat myös soveltuvia hyönteisten kasvatukseen koska ne ovat sileitä, pestävissä, helppoja pitää puhtaana, kestäviä ja ei-imukykyisiä. Sellaiset materiaalit kuten puu, ovat hankalia pitää puhtaana ja saattavat aiheuttaa saastumisriskin, joten niiden käyttöä on vältettävä.

Kaikkien ovien tulisi olla tarpeeksi leveitä ja korkeita, jotta liikkuminen huoneiden välillä on mahdollista ja estetään esineiden törmäminen oveen tai ovenpieliin. Halkeamat aiheuttavat hygieniariskin

(EHEDG 2014). Ei ole suositeltavaa asentaa ikkunallisia ovia, koska ne aiheuttavat lasin rikkoutumisen vaaran. Eräs uhka mikrobien kasvulle ovat ylösalaisin käännetyt U:n muotoiset urat ovien päällä, koska ne keräävät likaa ja pölyä. Vältä näitä tilallasi. Jos käytetään liukuovia, on kaikkien rakojen oven ja raamien välissä oltava tukittu. Oven on myös kestävä puhdistusta ja kulutusta, eli niiden tulisi olla valmistettu ei-imukykyisestä materiaalista (ei puusta, joka on imukykyinen ja lisäksi altis jyrksijöiden hyökkäyksille). Ulko-ovien ei tulisi avautua suoraan sirkkojen kasvatustilaan, ja niiden tulisi olla jyrksijöiden kestäviä. Lisäksi ovien tulisi aueta ulospäin, jottei hyönteisiä tai likaa kulkeudu sisälle rakennukseen. Ovien läheisyyteen sijoitettua valaistusta on vältettävä, sillä se houkuttelee hyönteisiä. Sisään- ja uloskäyntien lukumäärä tulisi pitää mahdollisimman pienenä paremman hallittavuuden takia. Sisäovet voivat olla tärkeässä osassa ylipaineen ylläpitämisessä kasvattamon sisällä olevissa huoneissa. Tämä vaatii hyvin tiivistettyä ovea, joka sopii tiukasti ovenpieliin (EHEDG 2014). Ylipaineessa ulkopuolinen lika virtaa ulos huoneesta, pikemminkin kuin sisälle huoneeseen. Paineen erotusten tulee olla >3 Pa tai ilman nopeuden >3 m/s. Henkilökunnan sisäänkäyntien tulisi olla rakennettu kaksista ovista siten, että työntekijöiden on mahdollista pestä kädet sekä vaihtaa työvaatteet sulussa (kuva 2). Kun on aika kuljettaa sirkkoja tilan ulkopuolelle, on suositeltavaa käyttää ovien sijaan lastauslaituria, jotta voidaan estää ulkopuolelta tuleva kontaminaatio. Lastauslaituria oven sijaan käyttämällä ulkopuolelle muodostuu automaattisesti tarvittava este.

Suomen päivänvalon vaihtelu ei sovellu kotisirkkoille ja ne vaativat hieman toisenlaisen valojakson. Suositeltu päivän ja yön välinen suhde kotisirkkoille on 12:12 tai 14:10 (Horppu ym. 2017). Jotta voitaisiin jäljitellä kotisirkkoille ihanteellisinta valojaksoa, pitäisi kasvatushuoneessa välttää ikkunoita. Jos ikkunoita käytetään tilalla jossain muualla, niiden tulisi olla mieluiten aukeamattomia (EHEDG 2014) tai vaihtoehtoisesti oltava säpissä tai lukittuina. Avonaisina ne häiritsevät koneellista ilmanvaihtojärjestelmää.

Sähkökaapeleiden ja laitteistojen on oltava helposti puhdistettavia (EHEDG 2014). Kaapeleiden asennuskiskojen pystysuora kiinnittäminen on suositeltavampaa kuin vaakasuorat asennukset. Mikäli vaakasuoria pintoja ei pystytä välttämään, niiden tulisi kallistua 45 astetta. Kaapelit on asennettava yhteen kerrokseen ilman kimppejä. Mytysissä olevien kaapeleiden sisäosiin kerääntyy kosteutta, joka edistää homekasvua. Valaistuksen tulee olla kunnolla kiinnitetty joko kattoon tai seinään tai asennettu siten, että valaistuksen ja seinän/katon väliin jää riittävästi tilaa, jotta estetään pölyn kerääntyminen. Kyseisen asennuksen pitää myös mahdollistaa puhdistus ja kunnossapito. Jos valoa ei ole kiinnitetty kattoon tai seinään, sen tulisi olla kiinnitetty kaltevasti 45 asteen kulmaan, jolloin puhdistus on mahdollinen ja estetään pölyn kerääntyminen. Valonlähteitä ei pidä sijoittaa suoraan sirkkaviljelmän yläpuolelle, jotta estetään esimerkiksi rikkoutuvien lamppujen ja muiden esineiden tipahtaminen hyönteislaatikoihin. Valonlähteet on suljettava tiiviisti.

Tiloissa, joissa käsitellään elintarvikkeita, tulee olla soveltuva ja riittävän keskimääräisen neutraali tai mekaaninen ilmanvaihto (EUR 852/2004). Kasvattamon tulisi olla toiminnassa hiukan positiivista painetta (2–5 Pa) alemmalla tasolla, jotta estetään suodattamattoman ilman sisäänpääsy. Lisäksi ilman täytyy tehokkaasti levitä koko huoneeseen, ettei tilaan luoda ns. kuolleita kohtia, joissa ilma seisoo (EHEDG 2014). Haittaeläinten pääsyn estämiseksi sisä- ja ulkotiloissa olevien ilman tuloaukkojen tulee olla peitetty kunnolla ja sijaittava ainakin 1 m maantason yläpuolella, sekä kaukana mistä tahansa mahdollisesta kontaminaation lähteestä, esimerkiksi ilmanpäästöaukoista. Yli 30 °C sisälämpötila lyhentää sirkkojen elämänsikaa. Jos lämpötila nousee 38–40 °C:een, voi kuolleisuus olla 100 % koko populaatiossa (Horppu ym. 2017). Tämän vuoksi on tärkeää tarkkailla kasvatushuoneen lämpötilaa (EHEDG 2014). Lisäksi, kotisirkat menestyvät kosteassa ympäristössä suunnilleen 50–60 % suhteellisessa ilmakeydessä. Suomalaiset kotisirkkakasvattajat pyrkivät pitämään 60 %:n ilmakeyden kasvatushuoneissa, koska ilmakeys on tärkeää sirkkojen kasvulle (Kukkola 2018). Kuitenkin Cliffordin ja Woodringin (1990) mukaan yli 50 % ilmakeys voi olla aikuisille sirkoille tappava. Nuoret sirkat ja munat tarvitsevat korkeamman, jopa 70–100 % ilmakeyden. Tämän takia ne on usein pidettävä

suljetuissa laatikoissa erillään aikuisista sirkoista (Horppu ym. 2017). EHEDG (2014) kuitenkin suosittelee, että suhteellinen ilmankosteus on alle 55 %, jolloin voidaan estää sienten (homeet ja hiivat), sekä bakteerien kasvu.

2.5.5. Henkilökunnan tilat

Tilalla työskentelevät työntekijät todennäköisesti saapuvat töihin kontaminoituneissa vaatteissa ja jalkineissa (EHEDG 2014). Tämän takia kaikki vaatteet on vaihdettava työvaatteisiin erillisessä vaatteidenvaihtotilassa ennen tuotantotilaan menemistä. Vaatteiden vaihtamiseen tarkoitetut tilat on sijoitettava siten, että henkilökunnalta on suora pääsy tuotantoon ja este, esimerkiksi ovi, on sijoitettava pukuhuoneen ja tuotantotilan välille, jotta työntekijä tietää missä vaatteet pitää vaihtaa (Ruralia-instituutti 2018). Kontaminaation estämiseksi pukutilaan tulisi asentaa kaksi ovea, joista yksi on sisäänkäynti tuotantotilaan ja toinen uloskäynti takaisin pukuhuoneeseen (kuva 2). Kun vaatteita vaihdetaan työntekoa varten, tulee seurata seuraavia vaiheita (EHEDG 2014):

1. poista omat vaatteet ja jalkineet ja laita hiustesi tai partasi ympärille hius- ja/tai partaverkko, jotta kaikki irtoavat hiukset pystyvät poissa tuotantotilasta. Pue yllesi puhtaat suojavaatteet ja jalkineet;
2. pese kätesi kunnolla ja
3. mene sisälle kasvattamoon käsien desinfiointipisteen kautta.

Kunnollinen käsien pesu suojelee sinua ja eläimiä tarttuvilta taudeilta (Ruralia-instituutti 2018). Käsienpesualtaassa tulisi olla hanat kuumalle, kylmälle ja haalealle vedelle, käsisaippua-automaatti sekä käsipyyhpaperia tai talouspaperirulla. (Wirtanen ym. 2014, Aarnisalo ym. 2006). Uudelleenkäytettäviä käsipyyheliinoja ei tule käyttää. Tilat pesulaitteille, välineille ja astioille on erotettava käsienpesuun tarkoitetuista alueista (EHEDG 2014). WC:t tulee sijoittaa elintarviketuotantoalueen ulkopuolelle pukuhuoneen yhteyteen, jotta kukaan ei käytä wc-tiloja ennen kuin on vaihtanut päälleen omat arkivaatteensa.

2.6. Hyönteisten hyvinvointi

Ruokaviraston ohjeen (10588/2) mukaan eläimen pito, hoito ja kohtelu on järjestettävä siten, että kyseisen eläinlajin tarpeet otetaan huomioon. Eläimen pitopaikan on oltava riittävän tilava, suojaava, valoisa, puhdas ja turvallinen sekä muutoinkin tarkoituksenmukainen ottaen huomioon kunkin eläinlajin tarpeet ja sellainen, että eläimen karkaamisvaara on mahdollisimman vähäinen. Eläintä ei saa jättää hoidotta tai hylätä ja sen on saatava riittävästi sille sopivaa ravintoa, juotavaa ja muuta sen tarvitsemia hoitoa. Eläimen hyvinvointi ja olosuhteet on tarkistettava riittävän usein (Ruokavirasto 2019).

Useat hyönteislajit esiintyvät luonnossakin suurina ja tiheinä esiintyminä. Nykyisen käsityksen mukaan hyönteisten lajityypilliseen käyttäytymiskriteerien täyttymiseksi riittää, että niillä on ruokaa, vettä ja ne saavat lisääntyä (van Huis ym. 2013). Lajikohtaisia kasvatusstandardeja hyönteisille ei kuitenkaan ole vielä olemassa, ja tutkimustietoa hyönteisten hyvinvoinnista on niukasti.

Eläimiä on kohdeltava hyvin eikä niille saa aiheuttaa tarpeetonta kärsimystä, kipua ja tuskaa. Lisäksi eläintenpidossa on edistettävä eläinten terveyden ylläpitämistä sekä otettava huomioon eläinten fysiologiset tarpeet ja käyttäytymistarpeet. Erens ym. (2012) mukaan varsinaista tutkittua tietoa hyönteisten tuntemasta epämukavuudesta ja kivusta on vähän. Erens ym. (2012) kuitenkin suosittelevat, että kasvatettaville hyönteisille tarjotaan riittävästi sopivaa laadukasta ravintoa, mahdollisuus toteuttaa luontaisia käyttäytymistarpeita, vapautta epämukavuudesta, kivusta, loukkaantumisesta ja taudeista sekä kasvatusympäristöä, joka jäljittelee mahdollisimman hyvin lajin luontaista kasvuympäristöä.

Erens ym. (2012) artikkelissa todetaan, että tutkimukset hyönteisten hyvinvoinnista ja kivun tuntemisesta ovat vähäisiä ja lisätutkimusta tarvitaan hyönteisten kipuherkkyydestä. Nykyisen käsityksen mukaan, vaikka hyönteisillä vaikuttaa olevan jonkunlaista kivun aistimista, ne eivät ilmeisesti kuitenkaan kärsi kivusta. Tätä perustellaan sillä, että esim. raajansa menettänyt hyönteinen toimii normaalisti, eikä osoita merkkejä kivun tuntemisesta.

2.7. Hyönteisten lopetusmenetelmät

Sherwin (2001) mukaan, ihmisten empatia selkärangattomia eläimiä kohtaan on vähäisempää kuin selkärangaisia eläimiä kohtaan. Hyönteisiä pidetään haittaeläiminä ja hyönteisten lopettamista koskevat artikkelit ovat yleensä haittaeläinten tappamiseen (tuholaismyrkyt) ja torjuntaan liittyviä tutkimuksia. Hyönteisten hyvinvoinnille on tärkeää tehokas ja kivuton lopetusmenetelmä, joka varmistaa välittömän kuoleman (Erens ym. 2012).

Eviran ohjeen (10588/2) mukaan eläin on lopetettava mahdollisimman nopeasti ja kivuttomasti sen lopetukseen soveltuvalla menetelmällä ja tekniikalla. Eläimen saa lopettaa vain henkilö, jolla on riittävät tiedot ja taidot kyseisen eläinlajin lopettamiseen. Eläimen lopettavan henkilön pätevyys arvioidaan tapauskohtaisesti. Toimijan on varmistettava, että käytetty lopetusmenetelmä on kyseiselle eläinlajille soveltuva ja aiheuttaa mahdollisimman vähän kärsimystä lopetettaville eläimille. Eläimiä lopetettaessa on myös varmistettava, että käytetyn lopetusmenetelmän tehokkuus säilyy koko ajan hyvällä tasolla ja ettei eläimiä laiteta lopetusvälineeseen liian suuria määriä kerralla (Ruokavirasto 2019).

Yleinen käsitys on, että hypotermia (jäähdytys/jäädytys) on inhimillinen tapa lopettaa hyönteisiä (Erens ym. 2012). Hyönteiset ovat vaihtolämpöisiä, mikä tarkoittaa, että niiden kehon lämpötila ei ole vakio, vaan se vaihtelee riippuen ympäristön lämpötilasta. Kun hyönteiset laitetaan pakastimeen, hyönteisten aineenvaihdunta hidastuu, kunnes ne jäätyvät. Hyönteislajista riippuen riittävä pakastusaika on 2–3 vuorokautta, jolloin ne kuolevat tulematta tajuihinsa (Dossey ym. 2016).

Kiehuvaan veteen upottamista pidetään soveltuvana lopettamismenetelmä sotilaskärpäsien toukille ja jauhomadoille, koska ne kuolevat siinä nopeasti ja tehokkaasti. Kiehuvaan veteen upottaminen laukaisee myös hyönteisten suolen tyhjennyksen (Donahue 2017). Pienempiä hyönteisiä voidaan myös sumuttaa kiehuvalle vedelle hiilidioksidikäsittelyn jälkeen (Erens ym. 2012). Hyönteisten silppuamista (tai murskaamista) pidetään hyvänä lopetusmenetelmänä, koska hyönteiset kuolevat siinä nopeasti (esim. sotilaskärpäsien toukat). Kivuttomana lopetusmenetelmänä pidetään myös hyönteisten lopettamista kaasuseoksella, jossa on korkea typpipitoisuus ja matala happipitoisuus (Erens ym. 2012). Lopettamista voi edeltää lyhyt paastojakso.

Hyönteisten lopettamisessa on vaikeaa kuoleman toteaminen ja tutkimuksen puute kivuttomaan kuolemaan johtavista menetelmistä sekä epävarmat tutkimukset hyönteisten kivun tuntemisesta (Erens ym. 2012). Kaikkia hyönteislajeja ei ole helppo todeta kuolleeksi. Esimerkiksi torakat pystyvät selviytymään kaksi tuntia happivajeessa tai eräs perhoslaji pystyy tekemään valekuoleman. Hyönteisten kuolema voidaan varmistaa sillä, että 12 tunnin päästä ”kuolemasta” tutkitaan, onko havaittavissa elonmerkkejä (Erens ym. 2012).

Koe-eläinten eutanasiaa koskevissa virallisissa teksteissä ei ole juurikaan viitattu selkärangattomiin, mutta tähän kysymykseen liittyvien tieteellisten julkaisujen määrä on kasvussa (Cooper 2011). Hyönteisten eutanasian menetelmiä on kuitenkin tutkittu vähän, ja aihe vaatisi enemmän huomiota.

2.8. Hyönteissadonkorjuu

Sirkkojen sadonkorjuu aloitetaan poistamalla kasvatusastiasta kaikki ruokinta-, kastelu- ja muninta-astiat. Sirkat kerätään ravistelemalla ne kananmunankennoista ja muista sisusteista toiseen tyhjään laatikkoon (Cloutier 2015). Sirkat siirretään jääkaappiin, jossa sirkkojen elintoiminnot hidastuvat ja ne vai-put horrokseen. Jääkaapista sirkat siirretään horrokseen pakastimeen, jossa ne kuolevat. Sirkat kor-jataan yleensä ennen aikuisvaihetta, jolloin siivet eivät ole vielä kehittyneet ja jalatkin ovat vielä tässä vaiheessa pienempiä kuin aikuisilla sirkoilla (Cloutier 2015, Collavo ym. 2005). Jauhoiksi menevät sirkat kuivatetaan uunissa, jonka jälkeen ne jauhetaan hienoksi. Kotisirkkaa kasvatetaan paljon, koska sen maku koetaan muita sirkkalajeja miellyttävämmäksi. Erityisesti naaraspuolisilla kotisirkoilla on alaruu-missaan paljon munia, jotka ovat rapeita.

Proteiinipitoisuuden optimoimiseksi jauhomatojen keruupaino tulisi olla 100–110 mg (Ghaly ja Alkoaik 2009). Tämän jälkeen jauhomatojen kasvu alkaa hidastua ja jauhomatojen muuntautuminen koteloiksi alkaa, jolloin jauhomatojen paino voi jopa laskea (Ghaly ja Alkoaik 2009). Jos jauhomatojen kokoha-jonta on suuri, tehokas sadonkorjuu edellyttää korjuukokoisten matojen siivilöimistä, joka on työlästä, jos se tehdään käsin seulomalla.

Jauhomadot erotetaan seulomalla toukanpurusta ja pohjamateriaalista ruostumattomasta teräksestä tehdyllä siivilällä seulomalla (60 mesh). Seulontaan on kehitetty myös sähköisiä tärstin laitteita (Ortiz ym. 2016). Pienimuotoisessa kasvatuksessa koteloitumaan valmistautuvia jauhomatoja voidaan kerätä kasvualustasta myös kasvisten avulla. Kun kasvualustan päälle laittaa esim. porkkanan tai kostean pa-perin, sen päälle kerääntyy jauhomatoja, jotka voidaan karistella porkkanan päältä keräilyastian. Jos kasvualusta päälle laittaa sanomalehden, paperin palan tai muovikannen, jauhomadot ryömivät sen alle (Suomalainen 1999). Isot jauhomadot kerääntyvät myös munankennojen päälle, joista ne on helppo siirtää keräysastiaan.

Seulottu pohjamateriaali kannattaa säilyttää erillisessä astiassa jonkun aikaa ja laittaa sinne hieman tuoreruokaa, jolloin toukanpurussa olevat pienet jauhomadot kerääntyvät tuoreruokaan ja ne voidaan siitä kerätä matolaatikkoon (Suomalainen 1999). Siivilöinti kannattaa tehdä mahdollisuuksien mukaan ulkotiloissa ja käyttää suojavarusteita, kuten hanskoja ja hengityssuojaimia, koska toukanpuru (uloste ja kitiinikuoret) voi aiheuttaa allergisia oireita (Cloutier 2015). Pakastamisen jälkeen toukanpuru (jäte) voidaan käyttää lannoitteena kukille tai vihanneksille. Kasvatusastia pestään huolellisesti ja kuivatetaan ennen uutta käyttöä.

3. Hyönteisten ruokinta

Hyönteiset voidaan jaotella sen mukaan käyttävätkö ne ravinnokseen muita eläimiä, kasveja vai lahoavaa materiaalia (Awasthi 2013). Hyönteisiä, jotka voivat käyttää ravinnokseen melkein mitä tahansa orgaanista materiaalia kutsutaan kaikkiruokaisiksi. Esimerkiksi torakat ovat tällaisia kaikkiruokaisia hyönteisiä (Awasthi 2013).

Viime vuosisadan alusta lähtien (Uvarov 1928) on laadittu oppaita hyönteisten ravintoainetarpeista (Fraenkel 1953, Rodriguez 1972, Reinecke 1985, Anderson ja Leppla 1992, Thompson ja Hagen 1999, Bellows ja Fisher 1999, Cohen 2004). Ihmisen laitimien ruokavalioiden kehittäminen hyönteisille, 1960-luvulta lähtien, on tehostanut ravintoainetarpeiden tutkimusta (Singh 1977) ja vuonna 1985 rehu oli tiedossa jo yli 1300 hyönteislajille (Singh 1985).

Hyönteisten ravintoaineiden tarpeet ovat samankaltaiset kuin kehittyneemmällä eläimillä, lukuun ottamatta sterolien tarvetta ja muutamia muita poikkeuksia (Panizzi ja Parra 2012). Optimaalinen hyönteisille tarkoitettu rehu sisältää yleensä kaikki tai useimmat seuraavista aineista: proteiinit, aminohapot (10 välttämättömiä), hiilihydraatit, rasvahapot, kolesteroli, koliini, inositoli, pantoteenihappo, nikotiiniamidi, tiamiini, riboflaviini, foolihappo, pyridoksiini, B12-vitamiini, karoteeni tai A-vitamiini, tokoferoli, C-vitamiini, kivennäisaineet ja hivenaineet ja vesi (Vanderzant 1974, Panizzi ja Parra 2012). Ravintoaineiden tulisi olla tasapainossa toisiinsa nähden, erityisesti proteiinien (aminohappojen) ja hiilihydraattien suhde tulee olla lajikohtaisesti oikea (Panizzi ja Parra 2012). Rehun sisältämien ravintoaineiden (esim. rasvat ja proteiinit) tulee olla hyönteiselle sulavassa muodossa, muuten niitä ei pystytä hyödyntämään (Cohen 2004).

Kasvatustekniikoiden kehittyminen ja tarkempi hyönteisten ravintoainetarpeiden kartoitus on tuonut esille sen, että jotkut hyönteislajit tarvitsevat myös nukleiinihappoja tai rasvaliukoisia vitamiineja, kuten A, E ja K1 vitamiinia. Myös erilaisten loislajien keinotekoiseen kasvatukseen on kehitetty rehuja (Consoli ja Parra 2002). Kasveja ravintonaan käyttävien hyönteisten kasvatuksessa käytetään edelleen samoja rehuja, joita on kehitetty jo 1960- ja 1970-luvuilla (Panizzi ja Parra 2012).

Eri kehitysvaiheissa hyönteiset tarvitsevat erilaista ravintoa ja tulevaisuudessa hyönteisiä ruokittaneen kehitysvaiheen mukaan optimoidusti. Esim. jauhomadon kehitysvaihe vaikuttaa ravinteiden tarpeeseen. Suurimmillaan ravintoaineiden tarve on heti kuoriutumisen jälkeen (Leclercq 1948). Toukkakehityksen puolivälin jälkeen ravinteiden tarve vähenee ja täysikasvuiset jauhomadot eivät tarvitse enää vitamiinilisiä tai steroleja valmistuessaan kotelovaiheeseen (Leclercq 1948).

Hyönteisten toukkavaiheessa saaman ravinnon määrä ja laatu vaikuttavat koko hyönteisten elinkiertoon, kuten kasvuun, kehittymiseen ja lisääntymiseen (Gobbi ym. 2013, Panizzi ja Parra 2012). Toukkavaiheessa syöty rehumäärä ja rehun laatu vaikuttavat myöhempään kasvuun, kehitysaikaan, painoon ja selviytymiseen sekä hedelmällisyyteen, eliniän pituuteen, liikkumiseen ja aikuisten hyönteisten kykyyn selviytyä. Niukasti tai heikompilaatuista rehua saaneista toukista tulee ”huonompilaatuisia” kotelaita ja aikuisia (Panizzi ja Parra 2012).

3.1. Hiilihydraatit

Hiilihydraatit ovat orgaanisia yhdisteitä, jotka koostuvat hiilestä, vedystä ja hapesta. Niitä ovat esimerkiksi sokerit, tärkkelys ja selluloosa. Hyönteisten rehussa käytetään yleensä yksinkertaisia hiilihydraatteja kuten monosakkarideja (esim. glukoosia, fruktoosia ja galaktoosia) ja disakkariedeja (maltoosi ja sakkaroosi) (Singh 1977). Sokereiden käyttökelpoisuudessa on eroja hyönteislajien välillä. Suurin osa hyönteisistä voi käyttää hyväkseen fruktoosia ja glukoosia, mutta osa monosakkarideista kuten arabinoosi, riboosi, xyloosi ja galaktoosi eivät sula hyönteisen ruoansulatuksessa. Esim. arabinoosin,

riboosin ja xyloosin on todettu haittaavan jauhomatojen kasvua (Chippendale 1978). Hyönteiset, jotka syövät monipuolisesti erilaista ravintoa (generalistit) voivat sulattaa disakkarideja, kuten sakkaroosi ja maltoosi, kun taas muutamien ravintolähteisiin erikoistuneet hyönteiset eivät voi niitä sulattaa (Singh 1977, Cohen 2004). Esimerkiksi monet kärpäset pystyvät sulattamaan mellibioosia, vaikka mehiläiset eivät pysty sitä sulattamaan (Gilmour 1961). Diasakkarideista maltoosi on suurimmalle osalle hyönteisistä sulavaa, mutta laktoosi ei ole (Cohen 2004).

Hyönteiset voivat muuntaa hiilihydraatteja rasvoiksi varastointia varten ja niiden avulla voidaan edistää myös aminohappojen tuotantoa (Panizzi ja Parra 2012). Todennäköisesti useimmat hyönteislajit voivat hyödyntää yleisimpiä sokereita ja sokerin tai sulavan polysakkaridin puuttuminen ravinnosta heikentää kasvua. Yleensä hyönteiset tarvitsevat suuria määriä hiilihydraatteja ruokavaliossaan. *Schistocerca*-suvun heinäsiirkkojen rehussa tulee olla vähintään 20 % sokeria hyvän kasvun saavuttamiseksi. Varastopimiköillä (*Tribolium* sp., *Coleoptera* sp.) paras kasvu saavutetaan rehulla, jossa on noin 70 % hiilihydraatteja. Hyönteiset, jotka käyttävät ravintonaan siemeniä ja viljaa, tarvitsevat noin 20–70 % hiilihydraatteja, kun taas kirvat tarvitsevat hiilihydraatteja 80 %. Hiilihydraattien tarve vaihtelee hyönteislajien välillä ja se tarve voi olla erilainen myös saman lajin eri kehitysvaiheissa (Panizzi ja Parra 2012).

Tärkkelys toimii energian varastona kasveissa ja glykogeeni eläimillä. Monimutkaisemmat hiilihydraatit kuten selluloosa toimivat rakennusaineina kasveissa. Hyönteisten amylaasi voi sulattaa tärkkelystä, jota on monissa kasvatushyönteisten rehun raaka-aineissa (Chippendale 1978). Suurin osa hyönteisistä ei voi sulattaa esim. selluloosaa, mutta se on kuitenkin tarpeellinen ja hyödyllinen suolen täytteenä (kuituna, bulkkiaineena) lisäämässä ravinnon kulkua suoliston läpi (Cohen 2004).

Hyönteiset tarvitsevat hiilihydraatteja myös kitiinin tuottamiseen. Kitiini on polysakkaridi, joka sisältää aminosokereita. Kitiini muodostaa niveljalkaisten ulkoisen tukirangan (Cohen 2004, Chippendale 1978).

3.2. Valkuaisaineet

Valkuaisaineet eli proteiinit ovat aminohapoista koostuvia molekyylejä. Valkuaisaineen rakenne ja molekyyliketjun pituus määrittää niiden luonteen ja tehtävät. Valkuaisaineen kemiallinen rakenne koostuu aminohappomolekyylien ketjusta, jotka on liitetty toisiinsa. Aminohappoja syntyy, kun ruoansulatus hajottaa ravinnon sisältämiä valkuaisaineita. Suurin osa hyönteisistä (paitsi kasvinesteitä ravintonaan käyttävät kirvat, jauhiaiset, kaskaat ja monet heinäsiirkat) käyttää pääasiallisena tyyppinä lähteenään valkuaisaineita, jotka pilkotaan ruoansulatuksessa aminohapoiksi (Cohen 2004). Hyönteisen syömän ravinnon valkuaisaineen arvo riippuu valkuaisaineen aminohappopitoisuudesta ja hyönteisen kyvystä sulattaa kyseistä valkuaisainetta. Hyönteisten ravinnossa proteiinit (aminohapot) ovat välttämättömiä ja niitä tarvitaan yleensä suuria pitoisuuksia optimaaliseen kasvuun (Panizzi ja Parra 2012).

Eläinlajilla on lajikohtainen valkuaisarve, jonka täyttävää valkuaiskoostumusta kutsutaan ihannevalkuaiseksi. Ihannevalkuaisessa välttämättömien aminohappojen määrät ja suhteelliset osuudet vastaavat eläimen tarvetta ja se sisältää myös riittävästi ei-välttämättömiä aminohappoja. Hyönteisten ihannevalkuaista ei ole määritelty, mutta hyönteisillä ravinnon aminohappotasapaino on todettu tärkeäksi vain muutamilla lajeilla, kuten mehiläisillä (Standifer 1967). Valkuaisen tarpeeseen vaikuttavat mm. kehitysvaihe ja sukupuoli. Kasvuiässä aminohappojen tarve on suurempi kuin aikuisiässä. Aikuiset hyönteiset tarvitsevat välttämättömiä aminohappoja munien tuottamiseen. Osa hyönteisistä ei kuitenkaan syö mitään aikuisvaiheessa, jolloin jo toukkavaiheessa kerätään kaikki tarpeelliset ravintoaineet myös aikuisvaihetta varten (Panizzi ja Parra 2012).

Eläin- ja kasvipäriset valkuaisaineet koostuvat yli 20 aminohaposta. Osa aminohapoista on eläimelle välttämättömiä ja ne on saatava rehusta. Jos jostain välttämättömästä aminohaposta on puutetta, sen määrä rajoittaa valkuaisaineiden muodostumista kehossa ja hyönteisen kasvu tai kehitys kärsii. Hyönteinen tarvitsee rehussaan 8–10 välttämättöntä aminohappoa, joita se ei kykene omassa elimistössään muodostamaan. Hyönteisille välttämättömiä aminohappoja ovat arginiini, histidiini, isoleusiini, leusiini, lysiini, metioniini, fenyyialaniini, treoniini, tryptofaani ja valiini (Panizzi ja Parra 2012, Chapman 1998, Cohen 2004).

Raja välttämättömän ja ei-välttämättömän aminohapon välillä voi olla epäselvä, koska osan aminohapoista eläin pystyy valmistamaan entsyymien ohjaamana muista aminohapoista. esim. tyrosiinia voidaan syntetisoida pieniä määriä, mutta synteesi vaatii paljon energiaa (Chapman 1998). Tyrosiini on tärkeä osa sklerotiinia, ja sitä tarvitaan suuria määriä nahanluonnin aikana (Hackman 1952). Hyönteisille tällaisia ei-välttämättömiä aminohappoja ovat seriini, asparagiini, aspartaamihappo, glutamiini, glutamiinihappo, alaniini, kysteiini, glysiini, tyrosiini ja proliini (Cohen 2004). Bakteerit, hiivat ja kasvit kykenevät tuottamaan kaikki tarvitsemansa aminohapot itse. Joillakin hyönteisillä on suolistossa symbioottisia bakteereja, jotka tuottavat välttämättömiä aminohappoja myös isäntä eläimen käyttöön (Cohen 2004, Panizzi ja Parra 2012).

Aminohapoista rakennetaan uusia valkuaisaineita tarpeen mukaan esimerkiksi lihaskudokseen, solukalvoihin, entsyymeihin, hormoneihin, erilaisten molekyylien kuljetukseen ja sairauksien torjuntaan (immuunipuolustus, vasta-aineet) (Cohen 2004). Proteiinit luokitellaan niiden liukoisuuden ja toimivuuden mukaan globuliineihin, nukleoproteiineihin, lipoproteiineihin ja liukenemattomiin proteiineihin. Globuliineihin kuuluu entsyymivasta-aineita ja hormoneja (Agosin 1978). Nukleoproteiinit liittyvät nukleinihappoihin ja ribosomeihin ja lipoproteiinit toimivat usein lipidien ja varastoproteiinien, kuten vitelliinin, kuljetuksessa. Rakenteelliset proteiinit, jotka tunnetaan myös kuitumaisina proteiineina, ovat liukenemattomia, koska ne koostuvat jäykistä molekyyliarakenteista, jotka sisältävät erilaisten polypeptidiketjujen ristiksidoksia (Agosin 1978).

Ravinnon proteiinipitoisuuden lisääminen nopeuttaa jauhomatojen kehitystä (Morales-Ramos ym. 2010) ja kasvua (van Broekhoven ym. 2015). Myös kotisirkkojen kasvatuskokeissa on saatu samankaltaisia tuloksia (Patton 1967). Parhaita eläinkunnan proteiinilähteitä hyönteisten rehuihin ovat kananmuna ja maitotuotteet (etenkin kaseiini) (Cohen 2004). Hyönteisten tulisi saada kaikki tarvitsemansa välttämättömät aminohapot rehun raaka-aineista, koska synteettisesti valmistetut aminohapot voivat tuottaa rehun maittavuusongelmia ja ne voivat myös lisätä suoliston osmoottista painetta, jolloin on vaarana, että hyönteisen suolisto tai koko hyönteinen kuivuu (Cohen 2004).

3.3. Rasva-aineet

Rasva-aineisiin (lipideihin) kuuluvat mm. sterolit, öljyt, rasvat ja fosfolipidit. Rasvat ovat yhden tai useamman rasvahapon ja glyserolin muodostamia estereitä, joista suurimman osan hyönteinen voi muodostaa entsyymaattisessa hydrolyysissä suolistossaan. Rasvoilla on lukuisia tehtäviä elimistössä. Rasvat ovat tärkeitä energian lähteitä, ne kuljettavat myös ravintoaineita ja toimivat rakenteellisena komponentteina molekyylijä rakennettaessa. Rasva-aineet muodostavat myös solujen kalvomateriaaleja. Lipidejä on myös hormoneissa, jotka ovat tärkeitä elintoimintojen säätelijöitä (Cohen 2004). Muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta hyönteiset pystyvät muodostamaan lipidejä proteiineista ja hiilihydraateista. Jotkut rasvahapot ovat kuitenkin välttämättömiä, kuten linoleiini- ja linoleenihapot, koska hyönteiset eivät pysty niitä muodostamaan ollenkaan tai niitä muodostuu vain riittämättömiä määriä (Panizzi ja Parra 2012).

Cohen (2004) mukaan rasvojen merkitys hyönteisten ruokinnassa on aliarvioitu. Ilmeisesti monet epäonnistumiset hyönteisten ruokinnassa johtuvat vääristä lipideistä tai niiden määristä. Esimerkiksi

siemeniä syövät perhoset pystyvät hyvin sulattamaan öljyä ja rasvoja, kun taas kasvien lehtiä syövät hyönteiset sulattavat huonosti öljyä ja rasvoja, ja tämän vuoksi niiden ruokinnassa tulisi käyttää rasvahappoja (Turunen 1979).

Fosfolipidit ovat monimutkaisia lipidejä, joilla on tärkeä rooli lipidien kuljetuksessa sekä vitelliinin ja muiden lipoproteiinien synteesissä (Agosin 1978). Fosfolipidit ovat hyönteisille hyvä monityydyttymätömien rasvahappojen lähde, koska ne sulavat ja imeytyvät hyvin (Chapman 1998). Rehun raaka-aineista munankeltuaiset ja soijapavut, ovat hyviä fosfolipidilähteitä (Ortiz ym. 2016).

Hyönteiset eivät pysty valmistamaan steroleja itse elimistössään muista aineista, kuten selkärankaisten, joten sterolit ovat hyönteisille välttämätön ravintoaine, jota sen on saatava ravinnosta (Gilmour 1961, Chapman 1998). Steroleja tarvitaan mm. solukalvojen rakenteisiin, hormoneihin, pintavahoihin ja kiitiinkuoren rakenteisiin (Downer 1978, Chapman 1998, Panizzi ja Parra 2012). Hyönteiset saavat steroleja kolesterolista, kasvien kasvisteroleista ja sienten ergosterolista (Gilmour 1961, Downer 1978, Cohen 2004). Kolestrolia sisältäviä raaka-aineita ovat mm. munankeltuainen, maito ja kalaöljy. Kasvisterolia on esim. kasviöljyissä, soijapavussa ja maississa (Ortiz ym. 2016).

3.4. Vitamiinit

Vitamiinit ovat orgaanisia aineita, joita tarvitaan pieniä määriä normaalin kasvun ja elintoimintojen ylläpitoon. Useimpia vitamiineja tarvitaan ravinnossa siksi, että niitä ei voida valmistaa sisäsyntyisesti (endogeenisesti) (Panizzi ja Parra 2012). Vitamiinit jaotellaan vesiliukoisiin (B- ja C-vitamiinit) ja rasvaliukoisiin (A-, D-, E- ja K-vitamiinit). Vesiliukoisia vitamiineja tarvitaan rehussa päivittäin, mutta rasvaliukoiset vitamiinit varastoituvat kudoksiin, jolloin elimistö voi käyttää niitä näistä varastoista tarvittaessa (Cohen 2004).

Hyönteisten vitamiinitarpeesta on vain vähän tietoa ja hyönteisten vitamiinien ruokintasuosituksia on olemassa vain muutamille hyönteislajeille (Cohen 2004). Hyönteisten vitamiinien puutokset eivät näy sairauksina kuten selkärankaisten, vaan vitamiinien puutostilojen on todettu aiheuttavan siipien epämuodostumia, kasvun heikkenemistä alentunutta hedelmällisyyttä ja painon laskua (Cohen 2004). Näitä oireita esiintyy sekä vitamiinien, aminohappojen, rasvojen ja kivennäis- ja hivenaineiden puutteessa (Gilmour 1961).

3.4.1. Vesiliukoiset vitamiinit

Useimpia B-ryhmän vitamiineja on oltava hyönteisten rehussa, koska hyönteisen oma elimistö ei pysty niitä tuottamaan. Tosin joitakin B-ryhmän vitamiineja hyönteinen voi saada käyttöönsä elimistössään symbionteina eläviltä mikro-organismeilta (Panizzi ja Parra 2012). Tiamiini (B1-vitamiini), riboflaviini (B2-vitamiini), niasiini (B3-vitamiini, nikotiinihappo), pyridoksiini (B6-vitamiini) ja pantoteenihappo (B5-vitamiini) ovat välttämättömiä useimmille hyönteislajeille, kun taas biotiini ja foolihappo ovat välttämättömiä vain joillekin lajeille (Cohen 2004).

B-vitamiinit toimivat kofaktoreina monissa metabolisissa prosesseissa, kuten energian hyväksikäytössä (tiamiini, riboflaviini ja niasiini) ja kasvutekijöinä (biotini ja foolihappo) (Gilmour 1961). Niasiinin kaksi fysiologista muotoa NAD ja NADP toimivat keskeisinä koentsyymeinä elimistön vedyn kuljetusjärjestelmässä, joka on keskeinen osa solujen hapetus-pelkistystapahtumaa ja energia-aineenvaihduntaa. Niasiinin puutos aiheuttaa kasvun ja kehityksen taantumista ja rakenteellisia epämuodostumia (Gilmour 1961).

Pantoteenihappo on kaikille hyönteislajeille välttämätön vitamiini (Gilmour 1961). Pantoteenihappo on rakenneosana koentsyymi-A:ssa. Kun koentsyymi-A:han liitetään asetyyliryhmä, muodostuu asetyyli-koentsyymi-A, joka on yhteinen välivaihe glukoosin ja rasvahappojen hapetuksessa.

Pyridoksiini toimii antioksidanttina sekä osallistuu solussa yli sataan entsyymireaktioon, joista suurin osa liittyy aminohappojen aineenvaihduntaan. Pyridoksiinin tarve vaikuttaa olevan hyvin erilainen eri hyönteislajeilla (Gilmour 1961).

Biotiini eli H- tai B7-vitamiini on rikkiä sisältävä, optisesti aktiivinen orgaaninen happo. Biotiini toimii koentsyyminä ja se osallistuu hiilihydraattien ja rasvojen aineenvaihduntaan eli metaboliaan. Biotiinin puutos aiheuttaa hyönteisillä kasvun taantumista ja hedelmällisyyden heikkenemistä (Gilmour 1961).

Foolihappo (B9-vitamiini, folaatti) tarkoittaa kaikkia niitä yhdisteitä, joilla on foolihapon biologinen aktiivisuus. Folaatit ovat koentsyymejä, jotka katalysoivat useita aineenvaihdunnan reaktioita etenkin puriinien, pyrimidiinien, nukleiinihapposynteesin, metioniinin, histidiinin ja tryptofaanin aineenvaihdunnassa sekä seriinin ja glysiinin muuttuessa toinen toisikseen. Tämän lisäksi foolihappo toimii pigmentin esiasteena (Gilmour 1961, Chapman 1998). Vaikka foolihappo onkin välttämätön, joillakin hyönteislajeilla se voidaan korvata kemiallisesti samantyyppisillä pteridiineillä (Gilmour 1961).

Koliini on ns. vitamiinin kaltainen rasvaliukoinen yhdiste, joka on välttämätön kaikille hyönteislajeille, mutta koliinin tarve vaihtelee paljon hyönteislajista riippuen (Gilmour 1961). Koliinia on kaikissa kudoksen kalvojen fosfolipideissä. Koliinin tehtävät elimistössä liittyvät mm. rasvan ja kolesterolin aineenvaihduntaan sekä sen toimimiseen solukalvojen rakenteissa ja solujen välisessä viestinnässä Ortiz ym. 2016). Koliinia tarvitaan asetyylikoliinin valmistukseen. Koliinia on paljon kananmunan keltuaisessa, naudan maksassa ja vehnänalkioissa.

Myös karnitiini on vitamiinien kaltainen aine. Suurimmalle osalle hyönteisistä karnitiini ei ole välttämätön, mutta jauhomadoille ja jauhopukeille (Tenebrionidae, Coleoptera) se on välttämätön (Fraenkel ja Chang 1954, Fraenkel 1958). Rasvahappojen hapetuksessa karnitiinilla on tärkeä biologinen tehtävä asetyylikoentsyymi-A:n kuljetuksessa. Inositoli on fosfolipidien komponentti ja se on välttämätön useimmille kasveja syöville hyönteisille, varsinkin kovakuoriaisille (Coleoptera) (Ortiz ym. 2016).

C-vitamiini on antioksidantti, joka välttämätön monille kasveja ravintonaan käyttäville hyönteisille. C-vitamiinin on todettu toimivan myös syöntiä stimuloivana aineena (phagostimulant) kasveja ravintonaan käyttäville hyönteisille (Chippendale ja Beck 1964).

3.4.2. Rasvaliukoiset vitamiinit

A-vitamiini, eli retinoli, on välttämätön silmän ja muiden pigmenttien muodostumiselle ja hyönteisen normaalille kasvu. A-vitamiini toimii myös antioksidanttina ja suojaa solukalvoja (Gregory 1996). Japanilaiset tutkijat ovat osoittaneet, että A-vitamiini on tärkeä silkkiäistoukkien (*Bombyx mori*) kasvatuksessa. A-vitamiinin esiasteita, karotenoideja (β -karotenoidit ja muut karotenoidit) on esim. vihreissä kasvinosissa (Panizzi ja Parra 2012).

D-vitamiini (steroidi) on tärkeä rasvaliukoinen vitamiini selkärangaisille eläimille, joka vaikuttaa kalsiumin imeytymiseen ja metaboliaan. Hyönteisille se ei kuitenkaan ole tarpeellinen. E-vitamiinin eli α -tokoferolin tiedetään olevan tärkeä eläinten hedelmällisyydelle, mutta E-vitamiinilla on myös tärkeä tehtävä antioksidanttina (Gregory 1996, Panizzi ja Parra 2012).

K-vitamiini, jota tarvitaan normaaliin selkärankaisten veren hyytymiseen, pidettiin aiemmin hyönteisille tarpeettomana. McFarlane (1976b) tutkimuksen mukaan K-vitamiini parantaa merkittävästi kotisirkkojen kasvua.

3.4.3. Kaupalliset vitamiinivalmisteet hyönteisten ruokintaan

Kaupallisten vitamiinivalmisteiden välillä on eroja (taulukot 1 ja 2). Suurin ero AIN-vitamiiniseoksen ja Vanderzant-vitamiiniseoksen välillä on, että AIN-seoksessa ei ole ollenkaan C-vitamiinia (askorbiinihappo), kun taas Vanderzant-seoksessa sitä on runsaasti (Schneider 2009). Toinen tärkeä ero näissä kahdessa seoksessa on sokerin määrä. AIN-seoksessa on 97 % sakkaroosia (ruokosokeri) ja Vanderzant-seoksessa 65 % glukoosia. AIN-vitamiiniseos sisältää A-vitamiinia, D3-vitamiinia ja K2-vitamiinia, joiden tiedetään olevan välttämättömiä monien selkärankaisten eläinten ruokinnassa, mutta Vanderzant-seoksessa niitä ei ole ollenkaan. Tosin näistä vitamiineista hyönteisille on todettu tarpeelliseksi vain A-vitamiini (Gilmour 1961). Muita eroja on mm. se, että E-vitamiini (alfa-tokoferoli) on sen stabiilimmassa ja hieman enemmän veteen liukenevassa asetaattimuodossa AIN-seoksessa, mutta Vanderzant seoksessa se on vähemmän liukenevaa yksinkertaista alfa-tokoferolia. Tärkeä ero on myös se, että AIN-vitamiiniseoksessa ei ole inositolia, vaikka sen on osoitettu olevan tärkeä tai ainakin hyödyllinen monien hyönteislajien ravinnossa (Vanderzant 1959).

Taulukko 1. Vanderzant-vitamiiniseoksen koostumus (Singh 1977).

Ainesosa	Määrä, % painosta
Tokoferoli	0,8
Askorbiinihappo	27,0
Biotiini	0,002
Kalsium pantotenaatti	0,1
Koliinikloridi	5,0
Foolihappo (kiteinen)	0,025
Inositoli	2,0
Niasiiniamidi	0,1
Pyridoksiinihydrokloridi	0,025
Riboflaviini	0,05
Tiamiinihydrokloridi	0,025
B12-vitamiini	0,2
Glukoosi	64,7

Taulukko 2. Hyönteisten rehuissa käytetyn AIN-vitamiiniseoksen koostumus.

Ainesosa	Määrä
Tiamiinihydrokloridi, g	0,60
Riboflaviini, g	0,60
Pyridoksiinihydrokloridi, g	0,70
Nikotiinihappo, g	3,00
D-kalsium pantotenaatti, g	1,60
Foolihappo, g	0,20
D-Biotini, g	0,02
Syanokobalamiini (B12-vitamiini), g	0,001
Retinyyliipalmitaatti (A-vitamiini) Pre-mix (250000 IU / g), g	1,60
DL-alfa-tokoferoliasetaatti (250 IU / g), g	20,00
Kolekalsiferoli (D3-vitamiini, 400000 IU / g), g	0,25
Menakinoni (K2-vitamiini), g	0,005
Sakkaroosi, hienojakoinen, g	972,90

3.5. Kivennäis- ja hivenaineet

Kivennäis- ja hivenaineilla on mitä erilaisimpia tehtäviä elimistön entsyymi- ja kuljetussysteemeissä. Kivennäisaineita ovat kalsium, fosfori, magnesium, kalium, rikki, natrium ja kloori. Kasvua ja kehitystä varten hyönteiset tarvitsevat huomattavia määriä kaliumia, fosforia ja magnesiumia, mutta vähän kalsiumia, natriumia ja klooria (Panizzi ja Parra 2012). Kalium on mukana lukuisissa kemiallisissa reaktioissa ja se on myös monien aineiden osana, kuten lipideissä (fosfolipidit), joissakin proteiineissa ja nukleiinihapoissa (DNA ja RNA). Fosforia tarvitaan aminohapoissa, fosfolipideissä ja solujen välittömänä energianlähteenä toimivassa adenosiinifosfaatissa (ATP) (Cohen 2004). Kalsiumin, natriumin ja kloorin tarvetta on vaikea määrittää, koska hyönteiset tarvitsevat niitä niin vähäisiä määriä, että on vaikea tehdä sellaista rehua, joissa näitä aineita ei ole ollenkaan rehun raaka-aineissa (Panizzi ja Parra 2012).

Hivenaineet ovat tärkeitä ionitasapainon ylläpitäjiä ja ne vaikuttavat myös hyönteisten solukalvojen läpäisykykyyn. Hyönteisille tärkeitä hivenaineita ovat kupari (Cu), rauta (Fe), sinkki (Zn) ja mangaani (Mn). Rauta on erittäin tärkeä useissa erilaisissa biologisissa prosesseissa. Seleni toimii esimerkiksi antioksidanttina. Mangaani ja sinkki ovat entsyymien kofaktoreita (Cohen 2004). Fluorilla ja jodilla ei ole todettu olevan merkitystä hyönteisten ravinnossa, mutta silti niitä käytetään hyönteisille tarkoitetuissa kivennäisseoksissa (Cohen 2004).

Koska täsmällistä tietoa hyönteisten kivennäis- ja hivenainetarpeesta ei ole, hyönteisten ruokinnassa käytetään samoja valmisteita kuin selkärankaistenkin ruokinnassa esim. Wesson-suolaseos (taulukko 3), AIN-76 suolaseos 76 (taulukko 4), seos 2 USP XIII, seos M-D n 185 ja USP XIV. Näissä on kuitenkin ilmeisesti paljon sellaisiakin kivennäis- ja hivenaineita, joita hyönteiset eivät välttämättä tarvitse tai määrät ovat liian suuria suhteessa hyönteisten tarpeeseen (Cohen 2004, Panizzi ja Parra 2012).

Nämä kaksi hyönteisten ruokinnassa käytettyä mineraaliseosta (Wesson-suolaseos ja AIN-76 suolaseos) ovat hyvin erilaisia (Cohen 2004). Esimerkiksi Wesson-suolaseos sisältää huomattavasti vähemmän kalsiumia kuin AIN-76 suolaseos. Nämä seokset ovat kuitenkin alun perin suunniteltu selkärankaisten ruokintaan, joten Cohen (2004) mukaan kalsiumin määrä voi näissä seoksissa edelleenkin olla hyönteisten kalsiumin tarpeeseen nähden liian suuri.

Koska kalsium pyrkii muodostamaan liukenemattomia yhdisteitä ja suuria, raskaita matriiseja, sillä voi olla haitallisia vaikutuksia rehun sulavuuteen, erityisesti jos käytetään AIN-76 suolaseosta, jossa kalsiumpitoisuus on suurempi (Cohen 2004). Näissä mineraaliseoksissa on muitakin eroja, esim. Wesson-seos sisältää fluoria, mutta AIN-76 suolaseoksessa sitä ei ole. AIN-76 seoksessa on sen sijaan sinkkiä, kromia ja seleeniä, mutta niitä ei ole Wesson-suolaseoksessa. Rauta on näissä seoksissa erilaisessa muodossa. AIN-76 seoksessa rauta on ferrisitraattina, mutta Wesson-suolaseoksessa se on ferrifosfaattina. Keena ym. (1998) mukaan hyönteisillä nämä raudan eri muodot imeytyvät eri tavalla.

Taulukko 3. Wesson-suolaseos (Singh 1977).

Ainesosa	Määrä (%)
Kalsiumkarbonaatti	21,0
Kuparisulfaatti • 5H ₂ O	0,039
Rautafosfaatti	1,470
Mangaanisulfaatti (vedetön)	0,020
Magnesiumsulfaatti (vedetön)	9,0
Kalium-alumiinisulfaatti	0,009
Kaliumkloridi	12,0
Kaliumdivetyfosfaatti	31,0
Kaliumjodidi	0,005
Natriumkloridi	10,5
Natriumfluoridi	0,057
Trikalsiumfosfaatti	14,9

Taulukko 4. AIN-76 suolaseos (Cohen 2004).

Ainesosa	Määrä %
Kalsiumfosfaatti (kaksiemäksinen)	50
Kuparikarbonaatti	0,03
Ferrisitraatti	0,6
Mangaanikarbonaatti	0,35
Magnesiumoksidi	2,4
Kaliumsitraatti	22,0
Kaliumsulfaatti	5,2
Sinkkikarbonaatti (70% ZnO)	0,16
Kaliumjodaatti	0,001
Natriumkloridi	7,4
Natriumseleniitti	0,001
Kromi-kaliumsulfaatti	0,055
Sakkaroosi (hienoksi jauhettu)	11,8

3.6. Vesi

Hyönteisille tarjottavan veden tulee olla puhdasta ja juomavedeksi kelpaavaa. Vettä tarvitaan mm. kudosten ylläpitoon, kasvuun ja lisääntymiseen. Maalla elävät hyönteiset sisältävät vettä vähintään 70 %. Vesipitoisuus vaihtelee kuitenkin hyönteislajista ja kehitysvaiheesta riippuen 46 %:sta 92 %:iin. Hyönteinen voi juoda vettä tai imeyttää sitä itseensä ympäristöstään (Panizzi ja Parra 2012). Varastoissa elävät tuhohyönteiset esim. jauhokoiset (*Anagasta kuehniella*, Lepidoptera), voivat elää elintarvikkeissa, joissa on vain 1 % vettä. Aavikolla elävät pimikkökuoriaiset (*Tenebrionidae*) voivat säilyttää elimistön vesitasapainon tuottamalla metabolista vettä hapettamalla rasvoja (Naidu 2008, Panizzi ja Parra 2012).

Hyönteisten kehitysmuodoista yleensä vain aikuiset hyönteiset juovat vettä (poikkeuksena jotkut nymfit ja toukat). Monien hyönteisten munat ja toukat absorboivat imeyttävät itseensä vettä ympäristöstään (Panizzi ja Parra 2012). Jauhokukki (*Tenebrio molitor*) tuottaa yhden sukupolven vuodessa, kun se ruokitaan vain kuivalla rehulla, mutta jos vettä on tarjolla, sukupolvia voi olla jopa kuusi vuodessa. Niittykirvarin (*Syrphus ribesii*) toukat voivat kuivissa oloissa olla ”lepotilassa”, mutta veden määrän lisääntyessä ne palaavat normaaliin aktiivisuuteen (Panizzi ja Parra 2012).

3.7. Rehun fysikaaliset, kemialliset ja biologiset ominaisuudet

Ravinnon käyttökelpoisuuteen kullekin hyönteislajille vaikuttavat rehun fysikaaliset ominaisuudet esim. kovuus, pinnan karvaisuus, rehuartikkelin koko ja muoto (Panizzi ja Parra 2012). Rehurakeen kovuus ja rehun partikkelikoko tulisi olla sellainen, joka sopii kunkin hyönteislajin suun rakenteisiin ja syömisikäyttyymiseen. Hyönteisten ruokinnassa täytyy huomioida hyönteisen suuosat ja alkuperäisten ravintokasvien rakenne. Jos rehurake on liian kovaa, hyönteinen ei pysty hyödyntämään rehua tehokkaasti ja hyönteisen kasvu kärsii. Esimerkiksi varastotuholaisille, heinäsiirkoille ja torakoille soveltuu rakeinen tai jauhomainen rehu (Panizzi ja Parra 2012). Kasveja ravintonaan käyttävät hyönteiset ja hyönteiset, joiden suuosat ovat poraavat tarvitsevat kiinteätä rehua, jossa on korkea vesipitoisuus. Kärpästen toukat kehittyvät parhaiten hyytelömäisellä ravinnolla, hyttysten toukille tarjottu ravinto pitää liuottaa veteen, imeville hyönteisille tarjotaan yleensä ravinto suodattamalla se parafilmikalvon läpi. Rehun fysikaalisilla ominaisuuksilla, kuten kovuudella, pintarakenteella, homogeenisuudella ja vesipitoisuudella, on tärkeä rooli (Panizzi ja Parra 2012).

Hyönteisen rehua voidaan muokata fysikaalisesti mm. lisäämällä siihen hyönteisten elimistössä sulamatonta selluloosaa. Monilla hyönteisillä on todettu selluloosan parantavan syöntiä ja lisäävän kasvua esim. silkkiperhosella (*Bombyx mori*), aavikkokulkusirkalla (*Schistocerca gregaria* (Forsk.) ja idänkulkusirkalla (*Locusta migratoria* L.) Ravintoon lisätty selluloosa muuttaa ruokavalion koostumusta ”karkeammaksi” ja parantaa ravinnon kulkua ruoansulatuselimistön läpi (Panizzi ja Parra 2012). Selluloosan tyyppisiä sulamattomia materiaaleja, joita voidaan käyttää hyönteisten rehuissa, on mm. savi ja eukalyptus puun sulfaatti, jota käytetään Brasiliassa (Vendramim ym. 1982).

3.8. Syömisen käynnistäjät ja estäjät

Vaikka rehu sisällöllisesti vastaisikin hyönteisten ravinnontarvetta, rehusta voi puuttua joku fysikaalinen, kemiallinen tai biologinen tekijä, joka käynnistää syömisreaktion (Panizzi ja Parra 2012). Hyönteisillä jotkut ravintoaineet voivat toimia syömistä stimuloivina ärsykeinä (feeding stimuli), jolloin niiden merkitys on paljon suurempi kuin pelkkänä ravintoaine (Chapman ja De Boer 1995). Tällaisia ruokinnan stimulantteja ovat mm. sokerit, jotkin aminohapot, lipidit, sterolit, C-vitamiini sekä jotkin kivennäis- ja hivenaineet (Panizzi ja Parra 2012). Joissakin tapauksissa rehussa olevaa ainetta ei edes käytetä ravintoaineena, mutta se on kuitenkin tarpeellinen ruokintaprosessissa, koska se stimuloi jotakin osaa ruokintaprosessista, kuten esim. pureminen, pureskelu tai nieleminen. Näitä syömisprosessille

välttämättömiä aineita kutsutaan ”token stimuli” (Chapman ja De Boer 1995). Tällaisia aineita ovat mm. gamma-aminovoihappo, sinigriini, monet vahat ja kasvien sekundaariset yhdisteet (Cohen 2004).

Myös rehun sisältämät allelokemikaalit kuten alkaloidit, syanogeeniset glykosidit, glukosinolaatit, ligniinit, proteiini-inhibiittorit, tanniinit, terpenoidit, lipidit sekä hormonit ja antihormonit, voivat toimia houkuttamina, syömisen stimuloijina tai estäjinä sekä karkottavina aineina (Kogan 1977, Norris ja Kogan 1980, Berenbaum 1985, Panizzi ja Parra 2012).

Rehun raaka-aineet voivat sisältää myös haitta-aineita kuten ruoansulatuksen inhibiittoreita, lektiinejä ja oksidatiivista stressiä aiheuttavia aineita (Cohen 2004). Pitkään on luultu, että monet kasvien sisältämät fenoliset yhdisteet, kuten rutiini ja kversetiini ovat kehittyneet estämään kasvin syöntiä kasvin-syöjiltä. Uudet tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että monet näistä aineista ja esim. antosyaanit, lykopeeni, β -karoteeni, ja astaksantiini ovat tärkeitä antioksidantteja, jotka ovat hyödyllisiä myös niitä syöville eläimille, kuten hyönteisille. Nämä antioksidantit ovat mahdollisesti joillekin hyönteislajeille jopa välttämättömiä (Cohen 2004).

3.9. Rehulainsäädäntö

EU:ssa eläimille, hyönteiset mukaan lukien, voidaan syöttää vain turvallisesti luokiteltua rehua, joten niiden ruokinta lannalla, jätteellä tai ruoka- tai elintarvikkejätteellä, joka sisältää lihaa ja kalaa, ei ole sallittua. Entisten elintarvikkeiden käytöstä eläinten rehuna säädetään Sivutuoteasetuksessa (EY/1069/2009, artikkelit 10 ja 14), Sivutuoteasetuksen toimeenpanoasetuksessa (EY/142/2011, artikkelit 17 ja 24), rehuhygieniasetuksessa (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus rehuhygieniasa koskevista vaatimuksista EY/183/2005) sekä sivutuotelaissa (Laki eläimistä saatavista sivutuotteista, L 517/2015).

Hyönteistuotannon kannattavuutta voidaan parantaa käyttämällä hyönteisten rehun raaka-aineina ihmisravinnoksi sopimatonta tai muille kotieläimille hyödyntämätöntä kasvimateriaalia kuten teollisuuden ylijäämä tuotteita, sivuvirtaa, joilla ei ole muuta käyttöä ja joka muutoin päättyy kaatopaikalle (van Huis ym. 2013). De Vries ja de Boer (2010) mukaan sivuvirroilla, joiden arvo on paljon pienempi kuin varsinaisten päätuotteiden arvo, on myös alempi ympäristövaikutus. Nämä sivuvirrat ovat yhä tärkeämpiä rehun ainesosia (Wilkinson 2011). Näiden sivuvirtojen käyttökelpoisuus riippuu kuitenkin siitä, kuinka tehokkaasti tuotantoeläimet pystyvät niitä hyödyntämään rehuna. Erilaisia sivuvirtoja yhdistelemällä voitaisiin ehkä tehdä hyönteisille soveltuvia rehuja. Rehun koostumus on tärkein tekijä, joka määrittää tietyn hyönteislajin rehun muuntamisen tehokkuuden (Scriber ja Slansky 1981, Oonincx ym. 2015a).

Hyönteisten tuotantoa suunnitellessa, olisi tärkeää suunnitella tuotanto siten, että paikallisia elintarviketeollisuuden sivuvirtoja, vähempiarvoisia kasvibiomassoja, voitaisiin hyödyntää hyönteisten rehuna (van Huis ym. 2013). Hyönteisten ruokintaan käytetyn rehuaineiden tulisi olla paikallisia, edullisia, tasalaatuisia ja saatavilla tasaisesti ympäri vuoden. Kausiluontoisesti saatavan rehuaineen käsittelyllä esim. kuivauksella voitaisiin varmistaa tasalaatuisen rehun saatavuus hyönteisille ympäri vuoden (Ortiz ym. 2016).

Sivuvirtojen tulisi olla sellaisia, joita ei jatkojalosteta muuhun käyttöön tai joita tuotetaan hyvin runsaasti käyttöön nähden. Tällaisia hyödyntämättömiä teollisuuden biomassoja ovat mm. panimo- tai etanolituotannossa syntyvät viljajätteet ja hiiva, elintarviketeollisuuden ja kasviskuorimoiden sivuvirrat (peruna, porkkana), levät tai muut vielä nykyään käyttämättömät biomassat (van Huis ym. 2013). Hyönteisten teollisen mittakaavan tuotannon päästöt voitaisiin minimoida, jos tuotanto voitaisiin toteuttaa suljettujen ravinnekiertojen järjestelmässä.

Ennen sivuvirtojen käyttöä hyönteisten rehuna niistä tulee selvittää koostumus, mikrobiologinen laatu ja mahdolliset haitta-aineet tai esim. torjunta-aine jäämät ja raskasmetallipitoisuus. Rehun raaka-aine ei saa sisältää torjunta-aineita, antibiootteja, taudin aiheuttajia tai haitallisia määriä raskasmetalleja. Pienetkin torjunta-ainejäämät voivat helposti tappaa kerralla koko hyönteispopulaation. Haitallisten komponenttien (haitta-aineet, toksiinit ja torjunta-ainejäämät) pitoisuudet rehussa ja niiden mahdollinen kerääntyminen hyönteisiin vaatii vielä lisätutkimusta (Rumpold ja Sclüter 2013a, EFSA, 2015). Myös hyönteisten rehuaineiden mukana tulleet taudinaiheuttajat tai homeet voivat aiheuttaa hyönteisten tuotantolaitoksessa massatuhon.

Aikaisemmin hyönteisten ruokintaan on käytetty muille tuotantoeläimille tarkoitettua kaupallista rehua (esim. siipikarjarehu). Tällaiset rehut sisältävät kuitenkin aineita, jotka eivät ole hyväksytyjä käytettäväksi hyönteisten rehuissa, kuten väriaineita tai entsyymejä (esim. fytaasi). Valmisrehuissa käytetään yleensä myös erilaisia lisäaineita kuten emulsifaattorita, stabilisaattoreita, geelityviä aineita, pH:n muokkaajia, säilöntäaineita (antimikrobisia aineita ja antioksidantteja), väriaineita, entsyymejä ja kuitua (Cohen 2004). Muita funktionaalisia komponentteja, joita usein lisätään rehuihin (tai tulee raaka-aineiden mukana) ovat fenoliset yhdisteet, flavenoidit ja terpenoidit (Carroll ym. 1997, Johnson ja Felton 2001). Luomulaatuisissa rehuissa tällaisia aineita ei kuitenkaan ole ja niitä voidaan käyttää myös hyönteisten ruokinnassa.

Rehun lisäaineita käytetään parantamaan rehun tai eläintuotteiden ominaisuuksia, tyydyttämään eläimen ravitsemuksellisia tarpeita, edistämään eläintuotantoa, estämään tai vähentämään eläintuotannon ympäristöhaittoja taikka parantamaan eläimen elinympäristöä ja hyvinvointia (Cohen 2004). Rehun lisäaineita lisätään rehuun ehkäisemään mikrobikontaminaatiota, hapettumista tai muuta prosessia, joka tuhoaa ravinteita. Rehuihin lisätään mm. antibakteerisia aineita (esim. streptomysiinisulfaattia, klooritetrasykliiniä), antifungaalisia aineita (esim. sorbiinihappo, metyyliiparabeeni, propionihappo, ja formaliini) ja antioksidantteja (askorbiinihappo, tokoferoli, butyloitu hydroksitolueeni (BHT)). Monet näistä aineista ovat hyönteisille myrkyllisiä jo melko pieninä pitoisuuksina (Cohen 2004). Rehuissa voidaan käyttää vain EU:n hyväksymiä rehun lisäaineita (Asetus EY/1831/2003 rehun lisäaineista). Hyönteisille erikseen ei vielä ole hyväksytty rehun lisäaineita.

Hyönteisten kasvatuksessa käytettävien rehuaineiden ja rehuseosten sekä hyönteisistä valmistettujen rehujen tulee täyttää yleiset haitallisten aineiden enimmäisrajavaatimukset (EU Direktiivi 2002/32/EC ja sen nojalla annetut EU-asetukset). Hyönteisille ei ole vielä eläinlajikohtaisia enimmäisrajoja. Asetuksen EY/767/2009 (ns. rehujen markkinoille saattamisasetus) liite III kieltää ulosteiden ja ruuansulatuskanavan sisällön käytön rehuna. Kiellettyjä aineksia ovat myös mm. parkkiaineilla käsitellyt vuodat, peitatut siemenet, puunsuoja-aineilla käsitelty puu (ml. sahanpuru), yhdyskuntajäte ja –vedet (myös teollisuuden jätevedet) sekä maatalouselintarviketuotepakkaukset. Sivutuoteasetus ei salli lannan, ruokajätteen tai entisten elintarvikkeiden, jotka sisältävät lihaa ja kalaa, käyttämistä elintarviketuotantoeläinten, siis myös hyönteisten, ruokinnassa. TSE-asetuksen mukaisesti käsitellyn eläinvalkuaisen käyttö on elintarviketuotantoeläinten ruokinnassa kiellettyä, paitsi poikkeuksena hyönteisten rehuissa kalajauho on sallittu, vaikka liha ja muut eläinperäiset tuotteet ovat kiellettyjä. Rehuissa ei saa esiintyä salmonellaa (Maa- ja metsätalousministeriön asetus rehualan toiminnanharjoittamisesta MMM 548/2012).

3.10. Symbioosissa elävät mikro-organismit

Hyönteisillä voi olla symbioosi suolistossa elävien bakteerien (Blattodea, Isoptera, Homoptera, Heteroptera, Anoplura, Phthiraptera, Coleoptera, Hymenoptera ja Diptera), alkueläimien (torakat ja termiitit, Cloutier 2015), hiivojen (Homoptera ja Coleoptera) ja sienien (Hemiptera, Rhodnius) kanssa. Symbioottiset mikro-organismit voivat elää vapaasti suolistossa, kuten esimerkiksi siimaeliöt, jotka elävät puuta ravintonaan käyttävien torakoiden ja termiittien suolen loppuosassa (Panizzi ja Parra 2012).

Symbioottisten pieneliöiden (mikrobien) rooli hyönteisen ravitsemuksessa on erittäin suuri. Ne voivat olla tärkein ravinnon lähde kuten esim. sienet ovat muurahaisille, kuoriaisille, hyttysille ja kärpäksille tai ne voivat parantaa ruoansulatusta tuottamalla entsyymejä. Symbioottiset mikrobit voivat myös muuttaa ravinnoksi käyttökeltvottomia raaka-aineita käyttökeltvoseen muotoon (esim. termiiteillä ja torakoilla, Cloutier 2015) tai ne voivat tuottaa isäntäeliön käyttöön kasvua parantavia aineita esim. vitamiineja ja steroleja. Joillakin hyönteisillä on symbioottisia mikrobeja, jotka voivat mahdollistaa hyönteisen selviytymisen ja kasvamisen riittämättömällä tai jopa myrkyllisillä aineilla sisältävällä ravinnolla (Panizzi ja Parra 2012). Hyönteisillä on yleensä symbioottisia mikro-organismeja vain silloin, jos niillä on ravintonaan ravinneköyhää materiaalia. Ravinneköyhä materiaali voi olla esim. puuta tai varastoitua viljaa, villaa, hiuksia, kasvipärsisiä nesteitä, verta, seerumia (Panizzi ja Parra 2012) tai muovia (Yang ym. 2014, 2018).

3.11. Onnistuneita hyönteisrehuja

Eräs tärkeimmistä hyönteisten ruokintaan käytetyistä rehuista on vehnänalkioihin perustuva rehu, jota Vanderzant ja Adkisson käyttivät puuvillakoin (*Pectinophora gossypiella*) kasvatukseen (Adkisson ym. 1960, Cohen 2004).

Adkisson ym. (1960) rehu (vehnänalkiorehu 2, taulukko 5) sisältää noin 4 % proteiinia, noin 0,4 % lipidejä, noin 5 % hiilihydraatteja. Vitamiineja ja kivennäis- ja hivenaineita rehuun on lisätty kaupallisista valmisteista (Cohen 2004).

Steriilien raatokärpästen massakasvatus oli eräs menestystarina hyönteisten kasvatuksessa raatokärpästen heimoon kuuluvan *Cochliomyia hominivorax* (Coquerel, Diptera, Calliphoridae) lajin liki täydellinen hävittäminen steriilien koirasyksilöiden avulla Pohjois-Amerikassa (Scruggs 1978, Taylor 1992). *Cochliomyia hominivorax* oli aiemmin yleinen koko Etelä- ja Keski-Amerikassa ja Yhdysvaltojen eteläosissakin. Se aiheutti suuria taloudellisia vahinkoja karjankasvattajille. *Cochliomyia hominivorax* lajin kärpänen laskee munansa eläinten ihossa oleviin haavoihin. Munista kuoriutuvat toukat porautuvat päässään olevien terävien koukkujen avulla isäntäänsä ja käyttävät sitä ravinnokseen (Cohen 2004).

Melvin ja Bushland (1936) kehittivät näille raatokärpäksille rehun, joka mahdollisti näiden kärpästen massatuotannon. Rehu sisälsi 3 osaa täysmaitoa, 1 osa vasikan verta, 2 osaa jauhettua vähärasvaista naudanlihaa, ja 0,5 % formaliinia. Gingrich ym. (1971) kehittivät tästä rehusta edullisemman version, joka sisälsi kananmunajauhetta (kuivattu), verta (kuivattu), vasikoille käytettävää maidon korviketta, sokeria, kuivattua raejuustoa ja formaliinia sekoitettuna veteen (Cohen 2004).

Taulukko 5. Ensimmäiset vehnänalkiopohjaiset rehut (Adkisson ym. 1960).

Ainesosat	Kaseiinirehu	Vehnänalkiorehu 1	Vehnänalkiorehu 2
Kaseiini (vitamiiniton), g	5,0	3,0	3,5
Kysteiini hydrokloridi, g	0,1	-	-
Glysiini, g	0,15	-	-
Vehnänalkiot, g	-	3,0	3,0
Sakkaroosi, g	5,0	5,0	3,5
Wessonin suola, g	1,2	1,0	1,0
Kolesteroli, g	0,05	-	-
Maissiöljy, g	0,25	-	-
α -tokoferoli, g	0,01	-	-
Koliinikloridi, g	0,1	0,1	0,1
Selluloosa, g	4,0	-	-
Agar, g	3,0	2,0	2,5
Natriumalginaatti, g	0,5	-	0,5
Vitamiiniseos, g ¹⁾	1,0 ml	1,0 ml	1,0 ml
Vesi	80,0 ml	80,0 ml	85,0 ml

1) Kaseiinirehussa ja vehnänalkiorehussa 1 käytetty vitamiiniseos ei sisältänyt inositolia.

4. Kotisirkka (*Acheta domesticus*)

Sirkat kuuluvat suorasiipisten (Orthoptera) hyönteisten lahkoon yhdessä heinäsiirkkojen ja hepokattien kanssa. Yhteistä suorasiipisille hyönteisille on siritys ja takajalat, jotka soveltuvat hyvin hyppäämiseen. Suorasiipisten hyönteisten lahkoon kuuluu maailmassa yli 20 000 lajia (Cloutier 2015). Sirkkalajeja on noin 900. Sirkat muistuttavat rakenteeltaan heinäsiirkkoja, mutta ne ovat litteämpiä ja tukevampia. Pohjaväritään kotisirkat ovat kellertävän ruskeita, mutta etuselässä ja päässä voi olla tummempaa kuviointia. Aikuinen kotisirkka on noin 2–2,5 cm pitkä, perälisäkkeet ja tuntosarvet lisäävät kokonaispiuhtuutta (Cloutier 2015). Takajalat ovat kehittyneet voimakkaiksi hyppyjaloiksi. Aikuisilla sirkoilla on siivet. Kuuloelin on etusäärissä.

Kotisirkkojen siritystä voi kuulla nykyäänkin lämpimissä ja kosteissa sisätiloissa, kuten kellareissa, pan-nuhuoneissa, pesuloissa, leipomoissa ja kasvihuoneissa (Cloutier 2015). Kotisirkka menestyy myös kaatopaikoilla, joissa käymislämpö pitää ympäristön riittävän lämpimänä myös talvipakkasilla. Kotisirkan elinmahdollisuudet ovat myös asuinhuoneissa parantuneet, kun ilmankostuttimet ja puulämmitys ovat yleistyneet.

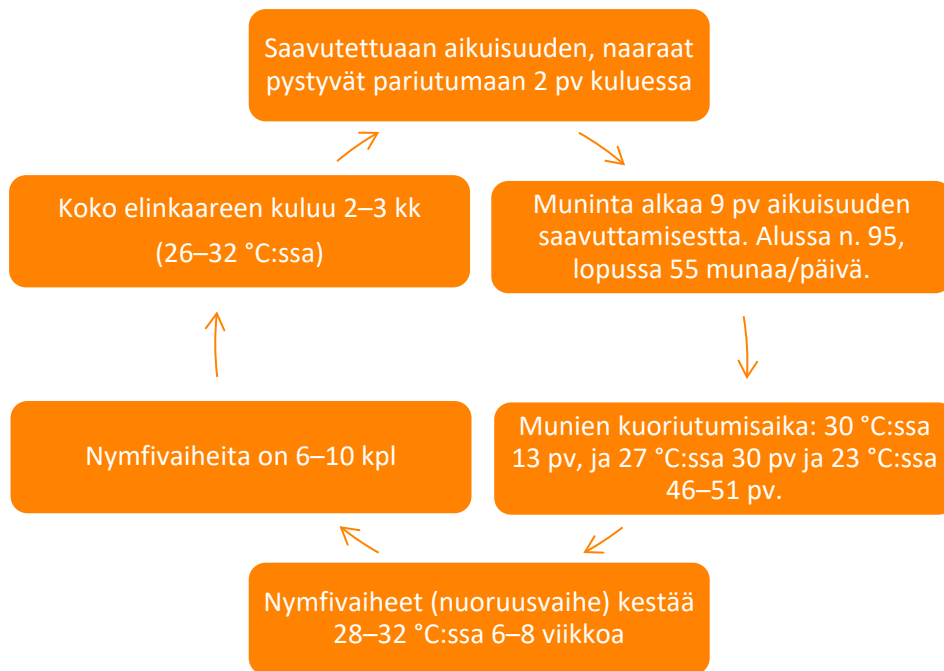
4.1. Kotisirkan elinkaari

Kotisirkan (kuva 3) elinkaaren voi jakaa kolmeen päävaiheeseen, joita ovat muna, nymfi ja aikuinen. Toukka-asteet (nymfit) ovat aikuisen näköisiä, mutta pienempiä (Cloutier 2015). Koko elinkaareen kuuluu noin 2–3 kuukautta (kasvulämpötila 26–32 °C).

Munien haudonta-aika riippuu lämpötilasta. Huoneenlämmössä munien haudonta-aika on hyvin pitkä (Clifford ym. 1977). Busvine (1955) mukaan kuoriutumiseen menee 46–51 päivää 23 °C:ssa. Stone (1953) mukaan munien kuoriutumiseen menee 27 °C:ssa 30 päivää. Useammassa tutkimuksessa on todettu munien kuoriutuvan 13 päivässä 30 ± 0,5 °C:ssa.

Munista kuoriutuu nymfejä. Nymfivaiheiden läpikäymiseen kuluu 6–8 viikkoa 32 °C:ssa (Patton 1978). Nymfit käyvät läpi useita muodonmuutoksia ennen kuin ne saavuttavat aikuisuuden. Muodonmuutosten määrä vaihtelee olosuhteista riippuen noin 6–10 kpl (Nix ja Bass 1973, Clifford ja Woodring 1990, Patton 1978). Kotisirkkojen kehitys munasta aikuiseksi kestää lämpötilasta riippuen noin 45–60 päivää (6–9 viikkoa) (Hanboonsong ja Durst 2014).

Saavutettuaan aikuisuuden, naaraat pystyvät pariutumaan kahden päivän kuluessa. Naaraat eivät muni ilman pariutumista. Muninta alkaa 9 päivänä aikuisuuden saavuttamisesta (Clifford ja Woodring 1990). Naaraiden muninta on hyvin riippuvainen olosuhteista. Erään lähteen mukaan naaraat munivat muninnan alkuvaiheessa noin 95 munaa päivässä mutta munintavaiheen puolivälin jälkeen vain 55 munaa päivässä (Clifford ja Woodring 1990).



Kuva 3. Kotisirkkan elinkaari.

4.2. Kotisirkkojen kasvatatus

Sirkkoja käytetään paljon ihmisravintona maailmalla ja niitä on myös kasvatettu teollisessa mittakaavassa länsimaissa vuosikymmeniä kotieläinten ja eläintarhojen eläinten ravinnoksi (Ortiz ym. 2016). Kotisirkka (*Acheta domestica*) on yleisin kaupallisesti kasvatettava hyönteislaji suuressa osassa maailmaa (Kvassay 2014). Se tunnetaan myös nimellä "eurooppalainen sirkka" tai "ruskea kotisirkka". Lajin uskotaan saaneen alkunsa lounaisessa Aasiassa, mutta se on levinnyt ympäri maailmaa lemmikkieläinten kaupan ja rahtikuljetusten mukana (Kvassay 2014). Kotisirkka on yleensä sitkeä laji, joka selviää kuljetuksesta hyvin, kun se pakataan asianmukaisesti, joten se soveltuu hyvin myös kaupalliseen tuotantoon (Kvassay 2014).

4.3. Kasvatuslaatikot

Laosissa, Thaimaassa ja Vietnaminassa kasvatetaan lemmikeille ja syötäväksi kahta sirkkalajia, paikallista lajia kaksitäpläsirkkaa (*Gryllus bimaculatus*) ja kotisirkkaa (*Acheta domestica*). Näistä kotisirkkaa pidetään laadukkaampana ja paremman makuisena (Hanboonsong ym. 2013, van Huis ym. 2013). Trooppisissa oloissa sirkkoja voidaan kasvattaa yksinkertaisissa suojissa takapihalla. Kotisirkka hyppii, joten se on otettava huomioon kasvatustiloja rakentaessa. Sirkkoja kasvatetaan 40 cm korkeissa ja 80 cm halkaisijaltaan olevissa betoni renkaissa. Tällaisessa renkaassa voidaan tuottaa sirkkoja noin 2–4 kg. Renkaat ovat edullisia, helppohoitaisia ja soveltuvat pienille ja keskisuurille sirkkakasvattamoille. Yksi henkilö voi hoitaa sirkkojen kasvatuksen 20–30 renkaassa. Sirkkakasvattamoissa renkaita voi olla 20–150 kpl. Renkaat ovat vaikeasti siirrettäviä ja ne vievät paljon tilaa (Hanboonsong ym. 2013).

Sirkkoja kasvatetaan myös suorakulmaisissa betoni-, vaneri- tai kipsilevylaatikoissa. Betonilaatikoiden koot vaihtelevat, mutta hyvin yleinen koko on 1,2 x 2,4 x 0,6 metriä. Laatikoita sirkkakasvattamossa voi olla 5–100 kpl. Yhdessä laatikossa voidaan tuottaa 25–30 kg sirkkoja (Hanboonsong ym. 2013). Vaneri- ja kipsilevylaatikot ovat noin betonilaatikoiden kokoisia (1,2 x 2,4 x 0,5 m) ja niissä voidaan tuottaa noin 20–30 kg sirkkoja. Näissä laatikoissa yleensä korokejalat nurkissa (15–20 cm), joten niitä voi siirrellä. Vanerilaatikko on helppo puhdistaa eikä se varastoi niin paljon lämpöä kuin betonilaatikot.

(Hanboonsong ym. 2013). Vanerilaatikko ei ole kuitenkin yhtä kestävä vaihtelevissa sääolosuhteissa (kuuma, kylmä tai kostea) kuin betonilaatikko.

Jos kasvatusastiassa ei käytetä kantta, kasvatusastian reunoille sisäpuolelle kiinnitetään teippiä tai muovia, joka estää sirkkojen pääsyn pois astiasta. Moskiittoverkoilla huolehditaan siitä, että sirkat eivät pääse leviämään ympäristöön, eivätkä saalistajat pääse kasvatuslaatikoon. Muurahaisten pääsy sirkkojen kasvatusalueelle voidaan estää rakentamalla kasvatusalueen ympärille "vallihauta" (Hanboonsong ja Durst 2014, van Huis ym. 2013).

Sirkkojen kasvatuksessa käytetään myös pienempiä muovilaatikoita (0,8 x 1,8 x 0,3 m), joita pidetään hyllyillä. Näissä laatikoissa voidaan tuottaa 6–8 kg sirkkoja. Tällä kasvatusmenetelmällä voidaan tuottaa paljon sirkkoja pienessä tilassa (Hanboonsong ym. 2013). Muovilaatikoissa sirkkojen kasvatus on helppoa ja laatikoita voidaan siirrellä. Myös muovi on materiaalina heikompi ja sen käyttöaika on lyhempi kuin betonista valmistetuilla laatikoilla. Ylimmäisillä hyllyillä olevissa laatikoissa sirkkojen kuoleisuus voi olla korkea ylikuumenemisen takia (Hanboonsong ym. 2013).

Muovilaatikossa kasvatettaessa kansi ei ole välttämätön, sillä sirkat eivät pääse kiipeämään astian reunoja pitkin, eivätkä pysty hyppäämään ulos korkeasta asiasta (Cloutier 2015). Jos halutaan käyttää laatikon omaa kantta, kanteen pitää porata runsaasti pieniä reikiä, tai kanteen voi leikata tuuletusaukon, joka kattaa noin puolet pinta-alasta. Aukkoon liimataan alumiini- tai rosteriverkkoa (hyttysverkon kokoista), joka tiivistetään kuumaliimalla ja alumiiniteipillä (Cloutier 2015).

Laatikon reunalle asetellaan sisusteiksi litistettyjä vessapaperirullia, rypistettyä sanomalehteä, kananmunakennoja, pahvilaatikoiden jakajia ja/tai jyrsijöille tarkoitettua kuivaa heinää. Kasvatusastian sisusteet antavat sirkoille suojaa ja lisätilaa (Cloutier 2015). Kasvatuslaatikossa rehu, vesilähde ja tuore-ruoka tarjoillaan matalilta lautasilta tai tarjottimilta, jotka sijoitetaan kyljellään olevien munakennosten tai muiden kalusteiden päälle (Ortiz ym. 2016).

4.3.1. Sirkkojen munintavaihe

Sirkkojen aikuistuessaa kasvatuslaatikoon laitetaan yksi tai useampi muninta-astia, jossa on munintaan sopivaa kosteana pysyvää materiaalia noin 3–5 cm kerros (Cloutier 2015). Thaimaassa muninta-astioissa käytetään riisin akanoita ja hiekkaa sekoitettuna (Hanboonsong ym. 2013). Muninta materiaalina voi käyttää lannoittamatonta, kalkitsematonta turvetta, lannoittamatonta multaa, kookoskuitua, pumputia tai muuta materiaalia, joka imee itseensä kosteutta (Clifford ja Woodring 1990, Cloutier 2015). Materiaaliin voi lisätä vermikuliittia, jolloin kosteus pysyy paremmin materiaalissa (Patton 1978). Munintamateriaalin on oltava riittävän pehmeä, jotta naaraiden on helppo työntää munanasetin materiaaliin. Yhdysvalloissa turve on yleisimmin käytetty kotisirkkojen munintamateriaali (Ortiz ym. 2016).

Muninta-astian päälle voi laittaa kannen, josta on yksi kulma leikattu pois kulkuaukoksi. Kansi vähentää kosteuden haihtumista rasiasta. Kanteen voidaan tehdä myös aukko koko alalle, johon liimataan alumiiniverkkoa ja reunat tiivistetään kuumaliimalla. Tällöin naaraat munivat verkon läpi, eivätkä pääse syömään munia (Cloutier 2015).

Rasia sijoitetaan sisusteiden lähelle siten, että sirkat pääsevät rasiaan vaivattomasti munimaan. Naaraat aloittavat muninnan vuorokauden kuluessa ja munintajakso kestää 7–14 päivää (Hanboonsong ym. 2013). Munat ovat valkoisia, ohuita ja vajaan 1 mm mittaisia. Muninta-astiaa pidetään kasvatuslaatikossa 48–72 tuntia, jonka jälkeen se siirretään toiseen kasvatuslaatikoon, erilliseen "hautomoon" (Patton 1978). Tällöin muninta-astiassa on jo yleensä satoja munia. Jos muninta-astia jätetään kauemmaksi aikaa kasvatuslaatikoon, munia voi tulla muninta-astiaan niin paljon, että niiden tiheys häiritsee munien kehittymistä. Kasvatuslaatikoon voidaan laittaa heti uusi muninta-astia tai välissä voidaan

pitää muutama ”lepopäivä”. Jo kertaalleen munineita sirkkoja voi munittaa uudelleen noin viikon jälkeen ja vielä kertaalleen tämän jälkeenkin (Hanboonsong ym. 2013).

4.3.2. Pikkusirkkojen hoito

Muninta-astiaa pidetään hautomossa, jonka lämpötila on hyvä pitää yli 30 °C:ssa (Hanboonsong ym. 2013, Clifford ym. 1977). Hautomoa täytyy kosteuttaa päivittäin, koska pienet sirkat vaativat korkeamman ilmankosteuden kuin aikuiset. Hautomoa voi kosteuttaa esim. sumuttamalla, jolloin poikaset saavat päivittäisestä laatikon sumutuksesta pääosan nesteestään (Clifford ym. 1977). Myös munintamateriaalia kannattaa sumuttaa ajoittain, että se ei kuivu. Materiaalin voi myös kastella pipetillä rasian reunoja pitkin, jotta munintamateriaali kastuu varmasti pohjia myöten. Liian märässä alustassa munat kuolevat. Munat kuoriutuvat 7–14 päivän kuluttua, jos hautomon lämpötila on tasainen ja optimaalinen. Kaikkien poikasten kuoriutumiseen menee muutama päivä (Hanboonsong ym. 2013, Clifford ym. 1977).

Kun ensimmäiset kuoriutuneet pikkusirkat (pinhead, nymfi) ilmestyvät, ne eivät aluksi ole sirkan munia suurempia. Pikkusirkat alkavat heti etsiä ruokaa ja lähtevät vaeltamaan pitkin hautomoa. Pikkusirkat ovat melko huonoja kiipeilijöitä, joten munintapurkin ympärille kannattaa laittaa esim. paperia suikaleina, jota pitkin pienet sirkat pääsevät turvallisesti pois muninta-astiasta. Sirkkojen rehun partikkeli-koko riippuvainen sirkan koosta, pienemmille sirkoille käytetään jauhomaista rehua. Rehun lisäksi pikkusirkat tarvitsevat heti tuoreruokaa ja vettä esim. pumpuliin tai paperiin imeytettynä (Clifford ym. 1977). Pikkusirkkoja kasvatetaan samalla lailla kuin isompiakin sirkkoja, mutta pikkusirkat tarvitsevat enemmän lämpöä ja kosteutta kuin aikuiset.

4.4. Kasvatusolosuhteet

4.4.1. Lämpötila

Sirkat ovat vaihtolämpöisiä, joten kasvatuslämpötila vaikuttaa sirkkojen munien kehityksen ja kasvun nopeuteen (Cloutier 2015). Sirkat selviävät ja lisääntyvät huoneenlämmössäkin, mutta sirkkojen optimaalinen kasvatuslämpötila on paljon huoneenlämpöä korkeampi, 32–35 °C (Patton 1978, Clifford ja Woodring 1990). Tyypillisesti kasvatuslämpötilat vaihtelevat välillä 29,5–33 °C.

Munat kuoriutuvat 10–14 päivässä ja nymfivaiheiden läpikäymiseen kuluu 6–7 viikkoa 32 °C:ssa (Patton 1978). Jos kotisirkka kasvatetaan 25 °C:ssa kotisirkan viimeinen nymfivaihe kestää 14 päivää, mutta jos sirkkoja kasvatetaan 35 °C:ssa, viimeinen nymfivaihe kestää 6 päivää (Roe ym. 1985). Clifford ym. (1977) kokeessa 0,5 °C:een lämpötilamuutos 30,5 °C:sta 31,0 °C:een nopeutti elinkaarta 10 päivää ja kun lämpötila nostettiin asteella (29,5 °C:sta 30,5 °C:een) haudonta aika lyheni yhdellä päivällä (14 päivästä 13 päivään). Alle 25 °C:ssa, kehitys on hyvin hidasta ja eloonjääminen vähäistä (Busvine 1955, Stone 1953, Roe ym. 1980). Nopeimman kehitysajan ja hedelmällisyyden perusteella 35 °C on kotisirkalle optimaalinen kasvatuslämpötila (Ghouri ja McFarlane 1958). 30 °C:ssa kasvuvaihe kestää 8 viikkoa (Cloutier 2015). Tosin jo hieman yli 35 °C:een lämpötilat (38–41 °C) voivat aiheuttaa lähes 100 %:n kuolleisuuden (Ghouri ja McFarlane 1958).

4.4.2. Ilmankosteus

Cloutier (2015) mukaan sopiva ilmankosteus sirkkojen kasvatukseen on 50–70 % (suhteellinen kosteus=RH). Täysikasvuisten kotisirkkojen kasvatuslaatikossa riittää alhaisempi ilmankosteus noin 50–55 % (Clifford ja Woodring 1990), mutta hautomolaatikossa ja kehittyville nymfivaiheen sirkoille optimaalinen ilmankosteus on korkeampi noin 60–75 % (Kvassay 2014). Kasvatuslaatikon ilmankosteutta voi

lisätä esim. sumuttamalla sumutinpullolla. Riittävä ilmanvaihto kasvatuslaatikossa on tärkeää ilman-kosteuden noustessa, koska liiallinen kosteus voi helposti tuottaa hometta.

4.4.3. Kasvatustiheys

Patton (1978) mukaan sirkkayksilön tilantarve on $2,5 \text{ cm}^2$, jolla voidaan minimoida kuolleisuus ja maksimoida tilankäyttö. Sirkkojen kuolleisuus lisääntyy kasvatustiheyden noustessa liian suureksi. Kaupallisessa kasvatuksessa Yhdysvalloissa kotisirkkojen kasvattajat käyttävät kotisirkkojen kasvatuksessa 28,3 litran kasvatustilassa, joissa kotisirkkoja on noin 500–750 kpl. Tämä kasvatustila muodostuu kuudesta munalaatikosta ($30 \times 30 \times 5 \text{ cm}$) (Ortiz ym. 2016). Lundy ja Parellan (2015) mukaan yksi munalaatikko vastaa $1,800 \text{ cm}^2$ kasvatusaluetta. Käyttämällä näitä arvioita nymfien tiheydeksi saadaan 4–7 kpl/dm² ($\text{dm}^2 = 100 \text{ cm}^2$) (Ortiz ym. 2016).

4.4.4. Valojaksotus

Sirkoilla on todettu olevan vuorokausirytmä esim. liikkumisaktiivisuudessa (Cymborowski 1973, Górska-Andrzejak ja Wojtusik 2003), syömisessä ja hapenkulutuksessa (Woodring ja Clifford 1986). Tämän vuoksi on tärkeää noudattaa kasvatustiloissa vuorokausirytmä 12:12 eli 12 tuntia valoisaa 12 tuntia pimeää tai rytmä 14:10 (valoisa:pimeä). Collavo ym. (2005) mukaan sirkkojen tuotantoa voidaan kasvattaa lisäämällä valojakso 24 tuntiin päivässä. Jos halutaan käyttää lämpölamppua lämmityksessä, kannattaa huomioida, että jatkuva valoisuus voi aiheuttaa ongelmia. Ghouri ja McFarlane (1958) mukaan käytettäessä valoa lämmönlähteenä (valoisa jakso 24 tuntia), hyvin harvat munat kuoriutuvat. Jatkuva valoisuus häiritsee ilmeisesti pariutumista (Ortiz ym. 2016).

4.5. Kotisirkkojen ravintovaatimukset

Kotisirkka on kaikkiruokainen. Tämä tarkoittaa sitä, että se pystyy monipuolisesti hyödyntämään sekä eläinperäisiä että kasviperäisiä ravinnonlähteitä. Luonnossa sirkat syövät mm. lehtiä, siemeniä, hedelmiä ja kasviksia. Yleensä sirkat suosivat kasvispainotteista ruokaa, mutta syövät myös toisia hyönteisiä ja omia muniaan, jos muusta ruuasta on pulaa (Cloutier 2015).

Patton (1967) mukaan optimaalisessa kotisirkkojen rehussa on 20–30 % proteiinia, 32–47 % hiilihydraatteja ja 3,2–5,2 % rasvoja. Proteiini on kuitenkin kallista ja kaupalliset kotisirkkojen rehut sisältävät yleensä raakaproteiinia alle 20 %. Nakagaki ja DeFoliart (1991) mukaan kananrehulla (22 % proteiinia) voi tuottaa kotisirkkoja huomattavasti halvemmalla kuin Pattonin rehu no 16 reseptillä, vaikkakin Pattonin (1967) ruokavalio 16 on ravitsemuksellisesti sopivampi kotisirkoille.

4.5.1. Kotisirkkojen vitamiinitarve

Ritchot (1960) on tutkinut 10 B-vitamiinin tarpeellisuutta kotisirkkojen ravinnossa ja todennut monien B-vitamiinien esim. tiamiini (B1), riboflaviini (B2), nikotiinihappo (B3), pyridoksiini (B6) ja pantoteeni (B5) olevan tärkeitä kotisirkkojen kasvulle ja kehitykselle. Ritchot (1960) mukaan, jos rehussa ei ole tiamiinia (B1) kaikki nymfit (nuoruusvaiheet) kuolivat jo alle 20 päivän ikäisinä. Riboflaviinin (B2) puutos rehussa heikensi nymfien kasvua ja eloonjääntä. Myös aikuisten sirkkojen paino jäi pienemmäksi kuin kontrollirehulla kasvatetuilla sirkoilla. Nikotiinihapon (B3), Pyridoksiiniin (B6) ja Pantoteenihapon (B5) puutos aiheutti sen, että nymfit kasvoivat heikosti eivätkä pystyneet kehittymään aikuisiksi. Biotiinin (B7-vitamiini, H-vitamiini) puutoksesta kärsivät nymfit kehittyivät hitaasti ja vain harva kehittyi aikuiseksi. Foolihapon (B9) puuttuessa rehusta, kotisirkkojen kuolleisuus lisääntyi kokeen loppuvaiheessa (Ritchot 1960).

Para-aminobentsoehapon poisto rehusta johti nymfivaiheen pitenemiseen ja heikensi ilmeisesti enemmän naaraiden kasvua kuin koiraiden kasvua (Ritchot 1960). Myös inositolin puuttuminen rehusta hidasti sirkkojen kehitystä huomattavasti.

Koliini on tärkeä ravintoaine kotisirkkojen kehitykselle ja kasvulle (Ritchot 1960). Koliinin puuttuessa rehusta nymfit eivät selviytyneet elossa 30 päivää pidemmälle. Koliini on vitamiininkaltainen rasvaliukoinen yhdiste. Koliinia on esim. asetyylikoliinin ja solukalvojen fosfolipidiyhdisteiden rakenneosana. Koliinia on paljon maksassa, kananmunassa, vehnänalkioissa, soijassa ja sianlihassa.

K1-vitamiini (fyllokinoni) on kasveissa esiintyvä rasvaliukoinen vitamiini. McFarlane, (1976b, 1978) mukaan K1-vitamiini on välttämätön kotisirkkojen rehussa. Tutkimuksissa se paransi merkittävästi kasvuvaiheessa olevien kotisirkkojen kasvua. McFarlane (1972a, b, c, 1978) on tutkimuksissaan todennut myös E-vitamiinin olevan välttämätön kotisirkkojen rehussa.

4.5.2. Kotisirkkojen kivennäis- ja hivenainetarve

Kotisirkkojen kivennäis- ja hivenaineiden tarvetta on tutkittu monissa kokeissa. Näiden tutkimusten perusteella kotisirkkojen rehun tulisi sisältää: natriumia 1126 ppm ($\mu\text{g/g}$), kaliumia 6487 ppm ($\mu\text{g/g}$), kalsiumia 1366 ppm (McFarlane 1991), kuparia vähintään 14 $\mu\text{g/g}$ (McFarlane, 1976a), sinkkiä vähintään 23 $\mu\text{g/g}$ (McFarlane 1976a). McFarlane (1991) mukaan kotisirkkoille soveltuva kivennäis-suolaseos sisältää 68,02 g NaCl, 120,00 g KCl, 310,00 g KH_2PO_4 , 37,65 g CaHPO_4 , 53,34 g CaCO_3 , 90,50 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 14,70 g $\text{FePO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 0,23 g $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 0,55 g ZnCO_3 ja 0,72 g CnSO_4 , jolloin kokonaispainoksi suolaseokselle tulee 695,71 g. Tätä seosta käytetään 2,783 g/ 95 g rehua.

4.5.3. Vesilähde ja tuoreruoka

Sirkoille on oltava tarjolla vettä koko ajan. Pienet sirkat hukkuvat helposti jopa vesipisaraan. Tämän vuoksi sirkoille tarjotaan vettä, joko sumuttamalla astian pinnoille, imeytettynä pumpuliin tai tarjottuna lintujen juoma-automaattipullosta (Cloutier 2015). Sirkat saavat vettä myös lautasilta, jotka ovat täynnä kiviä, jotka estävät sirkkoja hukkumasta.

Sirkat saavat vettä myös tuoreruosta esim. kiinankaali, kurkku, porkkana, peruna, salaatti tai hedelmä. Hyönteisille syötettävät ulkomaiset hedelmät ym. on syytä kuoria tai vähintäänkin pestä hyvin niiden käsittelyyn käytettyjen hyönteismyrkkujen takia. Tuoreruoka lisää sirkkojen ruokavalion monipuolisuutta ja tuoreruokaa käyttämällä myös sirkkojen maku paranee. Tuoreruoka kannattaa laittaa sisusteiden päälle matalaan rasiaan, jolloin tuoreruoka on helppo vaihtaa ja siivota tähteet (Cloutier 2015). Tuoreruokaa ei saa pitää kasvatuslaatikossa kauan, sillä se pilaantumaan päästessään homehduuttaa helposti koko kasvatuslaatikon ja sirkat kuolevat. Tämän homeherkkyyden takia sirkkojen kasvatuslaatikoissa tulee olla hyvä ilmanvaihto.

4.5.4. Kasvipörräisten sivuvirtojen käyttö kotisirkkojen ruokinnassa

Orgaanisten sivuvirtojen käyttöä kotisirkkojen ruokinnassa on tutkinut esim. Lundy ja Parrella (2015). Tutkimuksessa mitattiin kotisirkkan biomassan tuotosta ja rehun hyötysuhdetta viidellä erilaisella rehulla. Vertailurehuna käytettiin rehua, joka sisälsi 5:1 siipikarjan alkukasvatusrehua (ei antibiootteja) ja riisin leseitä. Yhden ryhmän kotisirkat saivat rehuna kotitalouksien pastöroitua, kiinteää biojätettä, jota oli prosessoitu entsyymaattisesti (patentoitu tuote). Nämä sirkat kasvoivat korjuukokoisiksi ja niiden rehuhyötysuhde ja proteiinihyötysuhde ylsivät samalle tasolle kuin siipikarjan kasvatuksessa. Kotisirkat, joita ruokittiin lähes käsittelemättömällä ruokajätteellä, kuolivat ennen korjuuikää. Kotisirkat, jotka saivat rehuksensa vehnästä ja maissista valmistettua säilörehua tai rehua, joka koostui siipikarjan lannasta sekä vehnän ja maissin korsista eivät selvinneet kokeessa korjuuikäänsä saakka. Lundy ja

Parrellan (2015) mukaan kotisirkkan käyttö proteiinin tuotannossa on riippuvainen tarpeeksi laadukkaiden sivuvirtojen saatavuudesta. Myös Itä-Suomen yliopistossa on tutkittu kasviperäisten sivutuotteiden soveltuvuutta kotisirkkojen (*Acheta domesticus*) ja kaksitäpläsirkkojen (*Gryllus bimaculatus*) ruokintaan (Sorjonen ym. 2019).

4.6. Kotisirkkojen kasvatuksen haasteita

Densovirus (*A. domesticus* densovirus) esiintyy kotisirkkakasvattamoissa Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Eurooppalaisissa kotisirkkakasvattamoissa sitä on esiintynyt jo lähes 40 vuotta (Liu ym. 2011). Kotisirkka on herkkä tälle virukselle, joka leviää helposti. Densovirus vaikuttaa ravinteiden imeytymiseen, lisää kuolleisuutta ja heikentää kasvua (Szelei ym. 2011, Liu ym. 2011). Densovirus tekee sirkoista passiivisia, ne jäävät pienemmiksi ja ne saattavat saada halvauksia. Virus on ilmeisesti yleisempi silloin, jos kotisirkkoja kasvatetaan liian tiiviisti (Szelei ym. 2011).

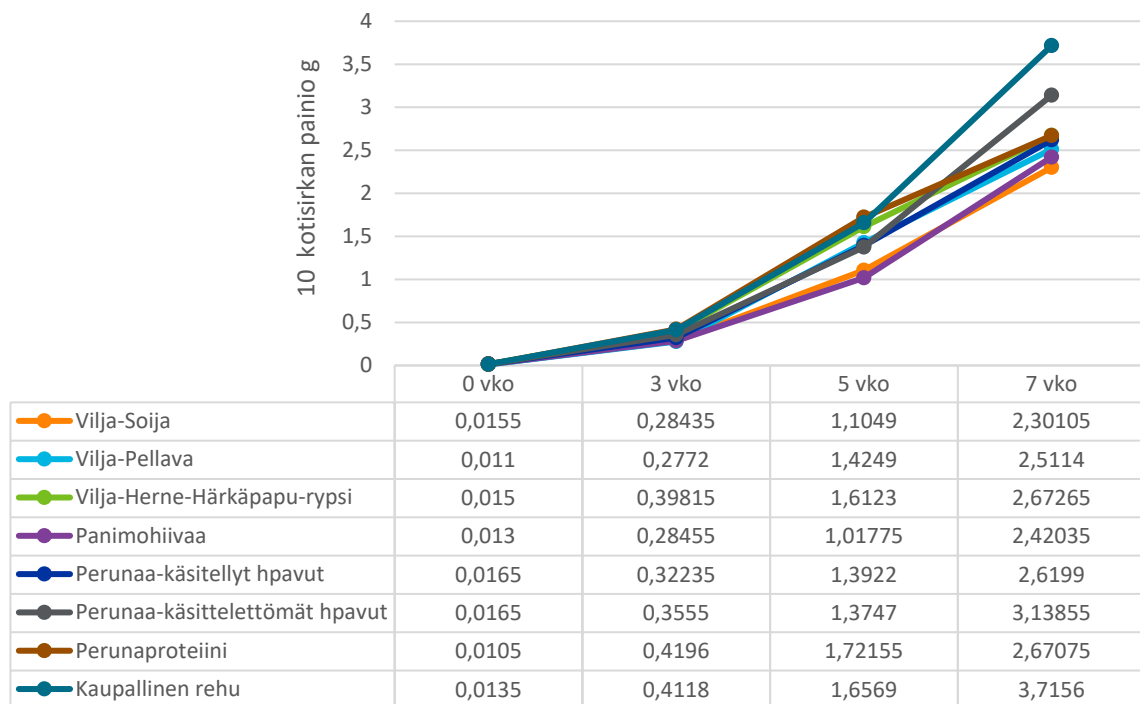
Hanboonsong ym. (2013) mukaan sisäsiittoisuus on riski kotisirkkojen kasvatuksessa, koska monet kasvattajat käyttävät sirkkojen lisäämiseen vain omaa kantaa. Sisäsiittoisuus alkaa vaikuttaa kolmen sukupolven jälkeen ja se aiheuttaa kotisirkkojen vähentyneenä aktiivisuutena ja heikompana kasvuna (Hanboonsong ym. 2013).

4.7. Kokemuksia ENTOLABin sirkkakasvatuskokeilusta

Hyönteiskasvatuksen edistäminen Etelä-Pohjanmaalla -hankkeen aikana toteutettiin kotisirkkojen kasvatuskokeilu. Ensimmäisessä vaiheessa kokeiltiin yhteensä seitsemää rehua, joista yksi oli silloin hyönteisille syötetty kaupallinen rehu. Jokaisella rehulla kasvatettiin kaksi laatikkoa, joista jokaiseen laskettiin 100 hyönteistä. Toisessa vaiheessa hyönteisiä kasvatettiin kahdella itse kehitetyllä rehulla ja yhdellä kaupallisella rehulla. Hyönteiset kasvatettiin tilalla käytössä olleella tuotantoprosessilla ja normaaleilla tuotantomäärillä ja -menetelmillä.

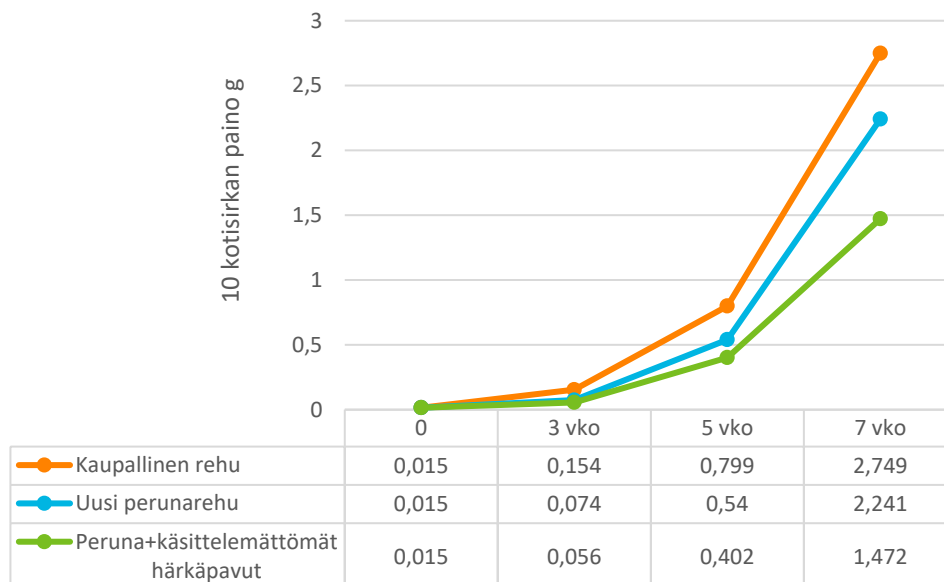
Kotisirkkojen rehut koostettiin aikaisemmissa ruokintakokeissa havaittujen tuloksien mukaisesti siten, että raakavalkuaista oli jokaisessa rehussa 220–224 grammaa kilogrammassa. Tavoitteena oli suunnitella kotisirkkoille mahdollisimman helppovalmisteinen rehu, joka täyttäisi elintarvikkeeksi kasvatettujen tuotantoeläinten rehujen lainsäädäntövaatimukset. Rehujen raaka-aineiksi etsittiin myös paikallisia sivuvirtoja, mutta sivuvirtoja, jotka olisivat soveltuneet hyönteisrehuiksi mutta joille ei vielä ole ollut käyttökohdetta, ei tunnistettu.

Kasvatuksessa käytetyt rehut valmistettiin pääosin jauhamalla raaka-aineet yhteen maksimissaan 0,8 mm partikkelikokoon. Poikkeuksena panimohiivaa ja perunankuoria sisältävät rehut, jotka valmistettiin kuivaamalla kyseiset raaka-aineet ensin uunissa. Kasvatuskokeessa käytettyjen rehujen reseptit ovat saatavilla tämän oppaan kirjoittajilta. Kokeen toisessa vaiheessa päädyttiin valmistamaan vielä yksi perunapohjainen rehu, joka suunniteltiin muistuttamaan enemmän kananrehua myös proteiini- ja aminohapposisällöltään. Kokeilun ensimmäisessä vaiheessa (kuva 4) testattiin seitsemän rehua sekä kaupallinen kananrehu. Jokaisella rehulla kasvatettiin vain kaksi sadan hyönteisen erää yhtäaikaaisesti. Kuvassa 4 on kasvatuseristä otettujen kymmenen sirkkan otoksen paino (g/kotisirkka keskimäärin). Kotisirkkojen painon nousu oli seitsemän viikon kasvatusjakson aikana suurin kaupallisella rehulla ja toisella perunarehulla. Viiden viikon jälkeen kehittyminen toisella omavalmisteisella rehulla hidastui.



Kuva 4. ENTOLAB-hankkeen ensimmäisen hyönteisruokintakokeilun punnitustulokset (kymmenen kotisirkan yhteispaino, g).

Toisessa vaiheessa (kuva 5) käytettiin kolmea eri rehua, joista yksi oli ensimmäisessä vaiheessa mukana ollut perunaa ja härkäpapua (käsittelemätön härkäpavu) sisältänyt rehu. Toinen rehu suunniteltiin vastaamaan ravintoarvoiltaan kaupallista rehua ja kolmas rehu oli ensimmäisessä vaiheessakin mukana ollut kaupallinen kananrehu. Jokaisella rehulla kasvatettiin kuusi kasvatuslaatikkoa.



Kuva 5. ENTOLAB-hankkeen toisen ruokintakokeilun punnitustulokset (kymmenen kotisirkan yhteispaino, g).

Kaupallinen kananrehu tuotti tässäkin kasvatuserässä suurimman sirkkojen painon kasvun. Uudella perunarehulla sirkat kasvoivat paremmin kuin ensimmäisen kokeilun rehulla. Hyönteisten lopullista määrää voidaan arvioida rehun kokonaissaannin kautta, joka on esitetty taulukossa 6. Vaikka uudella perunarehulla kotisirkat kasvoivat enemmän, syöntimäärä oli uudella perunarehulla kolmikon heikoin. Sirkkojen todellisuudessa syömän rehun määrän ("rehumenekki") selvittämistä hankaloitti jäännösrehun määrän mittaaminen, sillä sirkkojen syömättä jättämä rehu ja sirkkojen ulosteet ja kuona-aineet sekoittuvat kasvatusalustassa keskenään. Siten jäännösrehun määrän ja rehuhyötysuhteen selvittäminen tarkasti on haastavaa. Taloudellisesta näkökulmasta kustannuksia aiheuttaa kuitenkin kaikki rehu, joka on sirkoille annettu, joten tuotannon jatkokehityksessä tulisi pyrkiä maksimoimaan sirkkojen kasvu niiden saatavilla olevan rehumäärän suhteen. Tähän vaikuttaa sekä laatikkoon annostellun rehun määrä että rehuhyötysuhde.

Kasvatuskokeilulla saatiin arvokasta tietoa hyönteisten kasvattamisesta käytännössä ja kotisirkkojen ravinnosta. Kokeilu tuotti tärkeää taustatietoa aiemmin esitellylle kotisirkkakasvattamon hygieeniselle suunnittelulle. Lisäksi kokeilun aikana otettujen pintahygienianäytteiden avulla voitiin kartoittaa kasvattamon hygieenisii riskejä. Kokeilu osoitti, etteivät kotisirkat hyväksy ravinnokseen mitä tahansa rehua, vaan niiden rehun tulee olla suunniteltu vastaamaan kotisirkkojen ravintovaatimuksia.

Menetelmällisesti kotisirkkojen kasvatuskokeilut ovat haastavia, sillä hyönteisten pieni koko ja kotisirkkojen nopealiikkeisyys vaikeuttavat hyönteisten punnitsemista ja laskemista. Kokeilujen onnistumista ei myöskään edesauta kasvatustilan korkea lämpötila ja ilmankosteus sekä jäännösrehun ja kuona-aineiden sekoittuminen.

Taulukko 6. Tunnuslukuja (yhteensä g per käsittely) ENTOLAB-hankkeen kotisirkkojen kasvatuskokeilusta.

	Perunaa sisältänyt rehu 1	Kaupallinen rehu	Perunaa sisältänyt rehu 2 ¹⁾
Lisätyn rehun määrä	571,6	1350,5	614,6
Jäännösrehun ja muiden kuona-aineiden määrä, sihdattu 2 mm sihdillä	495,3	828,2	478,7
"Rehumenekki" ²⁾	76,4	522,4	135,9
Elossa kerättyjen sirkkojen yhteispaino	109,5	422,6	145,4

1) Perunaa sisältänyt rehu 2 sisälsi käsittelemätöntä härkäpapua.

2) Erotus = Lisätyn rehun määrä – jäännösrehun ja kuona-aineiden määrä.

5. Jauhopukki (*Tenebrio molitor*)

Jauhopukki (*Tenebrio molitor*) kovakuoriainen on jauhomadon (kovakuoriaisen toukka) aikuismuoto. Peitinsiivissä on pitkittäisuhteita. Jauhopukki on tuohyönteinen, jota tavataan silloin tällöin sisätiloissa, se viihtyy kosteassa, hämärässä ja lämpimässä paikassa (Cloutier 2015, Cotton 1940, Metcalf ja Flint 1939). Jauhopukki elää luonnossa lahoavassa puussa sekä lintujen että ampieisten pesissä ja voi kulkeutua sieltä sisään asuntoihin tuuletushormien kautta. Jauhopukit parveilevat öisin ja saattavat myös valoa kohti lentäessään joutua sisätiloihin. Jauhopukki ja jauhomato ovat luonnossa sekaravinnon syöjiä. Pääasiallisena ravinnon lähteenä ovat kaikenlaiset viljatuotteet. Proteiinitäydennystä jauhopukki ja jauhomato saavat luonnossa tappamalla ja syömällä muita hyönteisiä ja kuolleita eläimiä tai vaikkapa höyheniä (Cotton 1940, Metcalf ja Flint 1939).

Jauhomatojen kasvatuksen etuja on pieni tilantarve, tehokas rehuhyötysuhde, soveltuvuus massatuotantoon ja mahdollisuus käyttää orgaanista jättemateriaalia rehuksi. Jauhomatoja tuotetaan teollisesti, koska niitä on suhteellisen helppo kasvattaa ja ruokkia ja ne tuottavat suhteellisen lyhyessä ajassa huonolaatuisista kasvien jättemateriaaleista korkealaatuista ravintoa, joka sisältää runsaasti energiaa, proteiinia ja rasvoja (Ramos-Elorduy ym. 2002). Jauhopukki on yleisimmin kasvatettu hyönteinen Kiinassa. Jauhomatoja valmistetaan teollisesti, sekä kotitalouskäyttöön että vientiin, sekä ihmisille, lemmikeille ja eläintarhojen eläimille, kuten linnuille, matelijoille, pienille nisäkkäille, sammakkoeläimille ja kaloille sekä luonnonvaraisten lintujen ruokintaan (Ng ym. 2001, Ramos-Elorduy ym. 2002, Cloutier 2015, Franklin 1940). Jauhomatoja syötetään lemmikkieläimille yleensä elävänä, mutta niitä myydään myös purkitettuina, kuivattuna tai jauheina (Aguilar-Miranda ym. 2002, Veldkamp ym. 2012).

5.1. Jauhopukin elinkaari

Jauhopukki kovakuoriainen (*Tenebrio molitor*) on noin 10,5–23,5 mm pitkä (kuva 6). Koiras ja naaraspuolisia jauhopukkeja ei erota helposti toisistaan. Sukuelimet saa kuitenkin näkyviin painamalla kevyesti vatsasta (Cotton ja George 1929). Aikuinen jauhopukki elää noin 2–3 kuukautta (Cotton ja George 1929, Ghaly ja Alkoaik 2009). Jauhopukilla on täydellinen muodonvaihdos: muna, toukka, kotelo ja kovakuoriainen (Metcalf ja Flint 1939). Kehittyminen munasta kuoriaiseksi kestää noin 10–12 viikkoa optimaalisissa olosuhteissa. Jauhopukkien elinkaari vaihtelee pituudeltaan 280–630 päivää. Optimaalisissa olosuhteissa koko elämänkierto voi tapahtua jo 5–6 kuukaudessa (kuva 6). Kiertonopeuteen vaikuttavat lämpötila, kosteus ja ravinto (Ribeiro 2017).

Jauhopukit parittelevat ja jauhopukkinaaras aloittaa munimisen noin 4–20 päivää kuoriutumisen jälkeen. Kiinassa jauhopukkien muninta-alustana käytetään seulottua (14 mesh) vehnänlesettä (Ortiz ym. 2016). Jauhopukkinaaras munii röykkiöihin tai yksittäin noin 250–1000 vaaleaa munaa elämänsä aikana (Metcalf ja Flint 1939). Keskimäärin naaras munii 400–500 munaa, jotka ovat pavun muotoisia, tahmeita ja valkoisia (Cloutier 2015, Ghaly ja Alkoaik 2009, Ortiz ym. 2016). Munat ovat pituudeltaan 1,7–1,8 mm ja leveydeltään 0,6–0,7 mm (Cotton ja George 1929, Ghaly ja Alkoaik 2009). Aikuiset kovakuoriaiset kerätään muninta-alustalta 3–5 päivän välein, että kehittyvät munat ovat samaa ikäluokkaa (Ortiz ym. 2016). Munintajakso kestää noin 2–3 kuukautta ja sitten kovakuoriainen kuolee. Optimilämpötilassa munien kuoriutumiseen kuluu vajaa viikko (4–7 päivää), mutta 25 °C:ssa kuoriutumiseen kuluu jo 2 viikkoa (Cotton 1940, Ghaly ja Alkoaik 2009).

Jauhopukki kovakuoriaisen toukkaa kutsutaan jauhomadoksi. Vaaleat toukat ovat muutaman ensimmäisen elinviikon aikana niin pieniä (pituus noin 2,0–2,5 mm), että niitä on hankala havaita paljaalla silmällä (Cotton ja George 1929). Toukkavaihe kestää yleensä 3–4 kuukautta, mutta se voi kestää jopa kaksi vuotta (Metcalf ja Flint 1939). Optimaalisessa 27 °C:een lämpötilassa toukkavaihe kestää 6–7 viikkoa. Jauhomadot luovat nahkansa ympäristöolosuhteista riippuen 9–20 kertaa ennen

koteloitumista (Cotton ja George 1929, Esperk ym. 2007, Cloutier 2015). Viimeinen kitiinikuoren vaihtaminen tapahtuu noin 2–3 kuukauden kuluttua muna vaiheesta. Vasta kuorensa vaihtaneet madot ovat vaaleita ja kitiinitukiranka ei ole vielä täysin kovettunut, joten tässä vaiheessa toukat saattavat olla sulavampia kuin myöhemmin. Täysikasvuinen jauhomato on noin 2,5–3 cm pitkä (kuva 6) ja noin 3 mm paksu ja se painaa noin 130–160 mg (Finke 2002). Se on väriltään kellanruskea, kiiltävä ja kova-pintainen. Sen keho on tanakka ja sen takapäässä on kaksi pientä uloketta (Ghaly ja Alkoai 2009).

a)



Aikuinen: 12–18 mm



Toukka: n. 30 mm

Kuva: Didier Descouens / CC BY-SA 4.0.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tenebrio_molitor_MHNT.jpg

Tämä kuva on lisensoitu Creative Commons Nimeä-JaaSamoin 4.0 Kansainvälinen -lisenssillä. Tarkastele lisenssiä osoitteessa <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/> tai lähetä kirje osoitteeseen Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

Kuva: Rasbak / GNU Free Documentation License.
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tenebrio_molitor_\(mealworm\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tenebrio_molitor_(mealworm).jpg)

b)



Kuva 6. a) Kuvat jauhopukista (aikuinen ja toukka) sekä b) vuokaavio jauhopukin elämäнкаaresta.

Kun toukka on tarpeeksi iso, se hidastuu ja laiskistuu, toukat muuttuvat pehmeiksi ja pulleiksi ja jäähmettyvät liikkumattomaksi. Ne kiertyvät "C"-muotoon ja muuttuvat sitten valkoisiksi koteloiksi. Seuraavana päivänä kotelo muuttuu kellertävänruskeaksi (Cotton ja George 1929, Ribeiro 2017). Kotelot tulisi kerätä uuteen kasvatusastiaan odottamaan aikuisten "kuoriutumista" (Ortiz ym. 2016). Kotelo on noin 1 cm pitkä (Ghaly ja Alkoaik 2009). Kotelomuoto on lähes liikkumaton, sillä vain alaosa nytkähtelee koteloa liikuttaessa (Hollis 1963). Kuolleen koteloituneen jauhomadon tunnistaa siitä, että se ei liiku ja se tummuu tummanruskeaksi ja mustaksi. Kotelovaiheessa jauhopukki ei tarvitse ravintoa. Kotelolaatikossa kannattaa kuitenkin pitää tuoreruokaa, koska se kostuttaa ilmaa kasvatuslaatikossa (Franklin 1940). Koteloitumisajasta on erilaisia tuloksia eri lähteissä, riippuen suurimmaksi osaksi lämpötilasta. Cotton ja George, (1929) mukaan koteloitumisaika on noin 6 päivää 27 °C:ssa ja 18 päivää 18 °C:ssa. Ghaly ja Alkoaik (2009) mukaan koteloitumisaika on 6 päivää 28 °C:ssa ja 18 päivää 18 °C:ssa. Kotelolaatikko kannattaa tarkistaa päivittäin ja siirtää kuoriutuneet jauhopukit uuteen laatikkoon, jossa on uusi kasvatusalusta. Kuoriutuneet jauhopukit alkavat nakerrella koteloita, jos niitä ei siirrä. Kotelosta kuoriutunut jauhopukki on ensin vaalea ja sen kitiinikuori on vielä pehmeä (Metcalf ja Flint 1939). Sitten se tummuu, kovettuu ja muuttuu punaiseksi, ruskeaksi ja lopulta sen väri on hyvin tumma. Jauhopukki ei pysty lentämään, mutta se voi liikkua hyvin nopeasti (Cloutier 2015, Metcalf ja Flint 1939).

5.2. Jauhomatojen kasvatuslaatikot

Kiinassa jauhopukkeja kasvatetaan yleensä kasvatusastioissa, jotka ovat pahvia, kun taas Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa kasvatusastiat ovat yleensä muovia tai lasikuitua (Ortiz ym. 2016). Pienimuotoiseen jauhopukkien ja jauhomatojen kasvatukseen sopivia astioita ovat esim. karkkilaatikot, muoviset varastolaatikot tai vetolaatikostot sekä lasiakvaariot (Suomalainen 1999). Jauhomatojen muovisen kasvatusastian korkeudeksi riittää se, että pohjamateriaalin pinta on noin 5 cm alempana kuin kasvumateriaalin pinta, silloin jauhomadot eivät pääse pois (Cloutier 2015). Puisen laatikon seinämät voivat olla niin karkeita, että jauhomadot pysyvät kiipeämään niitä pitkin pois laatikosta. Jauhomadot voivat menestyä paremmin astiassa, jossa on suuri pinta-ala, koska suuremmalta pinta-alalta haihtuu enemmän lämpöä. Liian paljon jauhomatoja liian pienessä kasvatusastiassa voi aiheuttaa ylikuumenemisen ja matojen kuolemisen (Ortiz ym. 2016, Suomalainen 1999).

Läpinäkyvässä astiassa on se etu, että siitä näkee kuinka paljon toukanpurua (jätettä) on kertynyt. Jos käytetään useamman kasvatuslaatikon kasvatustapaa, neljän laatikon laatikosto voi olla ihan toimiva ratkaisu. Kasvatuslaattikoihin kannattaa merkitä kasvatusvaihe: jauhopukit, jauhomadot ja kotelot, sekä päiväys milloin kasvatus laatikossa on aloitettu.

Kasvatuslaattikkoon kannattaa laittaa kansi, koska hiiret, rotat, torakat ja jotkut hämähäkit syövät jauhomatoja. Tiivis kansi pitää myös jauho- ja viljakoit poissa kasvualustasta. Kannen ja laatikon tulee olla kuitenkin hyvin ilmastoitu, että kasvatusmateriaali ei pääse homehtumaan (Cotton 1940). Kasvatusastian yläreunaan tai kanteen leikataan tuuletusaukko ja aukkoon laitetaan ikkunaverkkoa/seulaverkkoa kuumaliimalla reunat tiivistäen. Kasvatuslaatikon kanteen voi myös porata reikiä (Suomalainen 1999). Jos astian kanteen tai seinille kertyy kosteutta, pitää ilmastointia parantaa. Liika kosteus homehduttaa pohjamateriaalin, ja tällöin myös varastopunkit voivat etsiä paikkaa. Ne ovat kuin pientä liikkuvaa pölyä, josta pääsee eroon vain tuhoamalla koko kasvatuserä ja siivoamalla kasvatuslaatikon ympäristö (Suomalainen 1999).

Kasvatuslaatikon koko määräytyy sen perusteella, miten paljon samassa kasvatuserässä halutaan jauhomatoja kasvattaa ja valitaanko yhden kasvatusastian kasvatustekniikka vai erottelutekniikka, jossa tarvitaan useampia kasvatusastioita. Jauhopukkien ja jauhomatojen kasvatuslaatikon pohjalle laitetaan muutama sentti rehua, joka toimii myös munintamateriaalina (Cotton 1940, Suomalainen 1999). Rehun pinnalle laitetaan tuoreruokaa esim. perunaa tai porkkanaa, josta jauhomadot saavat

tarvitsemansa veden. Kasvatusastiassa on kasvatusmateriaalin pinnalle hyvä laittaa piilopaikkoina, kiipeilyalustana ja varjostajana toimivia kuivia vessapaperirullia ja munakennon palasia (Cloutier 2015, Suomalainen 1999).

5.2.1. Kasvatustavat

Yhden kasvatusastian tekniikassa hankitut madot laitetaan yhteen astiaan, jossa ne koteloituvat, muuttuvat kovakuoriaisiksi, munivat, jne. Kasvatusastian tulee olla suhteellisen iso, jolloin sitä ei tarvitse siivota kovin usein. Kuolleisuus on tässä tekniikassa suurempi, koska madot ja kuoriaiset nakertelevat koteloidia ja syövät munia (Cloutier 2015). Riittävällä tuoreruokinnalla kannibalismi pysyy kuitenkin aisoissa ja tuottavuus työmäärään nähden suhteellisen hyvänä.

Usean kasvatuslaatikon tekniikassa erikokoisten matojen, koteloiden ja kovakuoriaisten kasvattamiseen käytetään useita kasvatusastioita, joissa on kovakuoriaisia, koteloidia ja erikokoisia matoja (kuva 7). Eri kasvuvaiheessa olevien jauhomatojen erottelu vähentää työlästä ja aikaa vievää seulontaa sekä mahdollistaa paremmin elinolojen, kuten ravinnon ja ilmankosteuden, optimoinnin kasvun eri vaiheisiin. Tällöin päästään parempaan tuottavuuteen ja voidaan välttää kovakuoriaisten kannibalismia (Ortiz ym. 2016). Kun kasvatuslaatikoiden pohjamateriaali alkaa muuttua ulostepitoiseksi se siivilöidään ja laatikko puhdistetaan (Franklin 1940).

Kovakuoriaiset eli jauhopukit ovat ylemmässä kasvatuslaatikossa, ja sen alla on jauhomatojen kasvatuslaatikko. Ylimmän kasvatuslaatikon pohja korvataan verkolla ja reunat tiivistetään kuumaliimalla (Ortiz ym. 2016). Kovakuoriaiset munivat kasvualustan sekaan ja verkko siivilöi munat ja pienet jauhomadot itsestään alempaan laatikkoon kuoriaisten liikkuesssa pohjamateriaalissa (rehuseoksessa). Tällöin pienet munat ja toukat tippuvat ylemmästä laatikosta alemmalle tasolle, jolloin ne ovat turvassa, eivätkä jauhopukit pääse syömään niitä. Matolaatikoita voi olla sitten useampia, niin että erikokoiset madot ovat eri laatikoissa (Ortiz ym. 2016). Laatikosto tulee olla hyvin ilmastoitu, että kasvatusmateriaali ei pääse homehtumaan (Franklin 1940).



Kuva 7. Esimerkki jauhomatojen kasvatukseen soveltuvasta laatikostosta.

5.2.2. Hoitotoimenpiteet kasvatuksessa

Jauhokukkien kasvatuslaatikkoa voi myös ravistella ajoittain, että munat ja pienet toukat varisevat alempaan laatikkoon. Juuri kuoriutuneet jauhomadot ovat hyvin pieniä. Niitä ei oikein erota kasvualustasta ensimmäisten viikkojen/kuukausien aikana (Ortiz ym. 2016). Kovakuoriaislaatikon alla oleva jauhomatolaatikko (munat, pienet madot ja toukanpuru) kannattaa vaihtaa uuteen noin 2–4 viikon välein, jolloin samassa laatikossa kasvavat madot ovat silloin melko samankokoisia. Kasvualustan voi kattaa

kangaspalalla tai sanomalehdellä, jota voi suihkutella kevyesti päivittäin, että kasvatuslaatikossa olisi riittävän kosteaa (Ghaly ja Alkoaik 2009).

Kaikissa kasvatuslaatikoissa tulee olla tuoreruokaa tarjolla (Cloutier 2015). Kasvualustaan voi lisätä le-seitä aina tarvittaessa (Cotton 1940, Ghaly ja Alkoaik 2009), mutta koko kasvualustan vaihto tehdään viimeistään silloin, kun sen kasvualustan rakenne on muuttunut jauhomaisesta ”hiekkamaiseksi” ja kasvualusta alkaa haista ammoniakilta. Jauhomadot syövät kasvualustaa ja vähitellen kasvuastian poh-jalle kerääntyy hienoa pölyistä tai hiekkaista jäännöstä, toukanpurua. Toukanpurun seassa on myös matojen luomia kitiinikuoria. Kasvualusta muuttuu vähitellen harmaaksi uloste- ja kitiinikuoripitoiseksi karkeaksi jauhoksi. Tällöin kannattaa siivilöidä ulosteet ja kitiinikuoret pois ja laittaa madot ja kovakuo-riaiset uuteen kasvualustaan (Franklin 1940, Ortiz ym. 2016).

Hoitotoimenpiteisiin (2–3 kertaa viikossa) kuuluu kasvualustan lisäys ja tuorekasviksien vaihtaminen, eri kehitysvaiheiden pitäminen erillään ja kuolleitten hyönteisten ja pilaantuneen pohjamateriaalin poistaminen sekä kasvualustan pöyhiminen kuohkeammaksi (Ghaly ja Alkoaik 2009). Koteloituneet jauhomadot noukitaan erilleen pois matolaatikosta toiseen kasvatusastiaan, koska muuten madot voi-vat nakerrella niitä (Cloutier 2015). Koteloita ei tarvitse ruokkia, mutta kosteuden säilyttämiseksi laa-tikossa olisi hyvä olla tuoreruokaa tai joku muu ilman kosteuttaja. Koteloista kuoriutuneet jauhopukit siirretään omaan kasvatuslaatikkoonsa, jossa on tuore ja puhdas kasvatusmateriaali (Franklin 1940). Päivittäisiin toimenpiteisiin kuuluu myös hyönteisten yleisen hyvinvoinnin ja olosuhteiden tarkkailu. Kuolleet toukat ja kotelot muuttuvat mustiksi ja kutistuvat. Epämuodostuneet kovakuoriaiset kuolevat aikaisin. Kuolleet kovakuoriaiset ovat liikkumattomia ja tuntosarvet kiertyvät ylös.

5.3. Kasvatusolosuhteet

5.3.1. Lämpötila

Jauhopukin kasvatusta ja kasvatusolosuhteita on esitelty monipuolisesti Ribeiron (2017) väitöskirjassa. Kasvatustilan tulee olla lämmin ja hämärä tai pimeä. Jauhomatojen optimaalinen kasvatuslämpötila on noin 25–30 °C, mutta jauhomatojen kasvatuksessa käytetään yleensä 25–28 °C:een lämpötilaa (Kim ym. 2015, Koo ym. 2013, Ludwig 1956, Manojlovic 1987, Punzo 1975, Punzo ja Mutchmor 1980). Jauhoma-dot sopeutuvat kyllä elämään 15–40 °C:ssa ja ne voivat pysyä hengissä jopa 0–15 °C tai 40–45 °C. Vä-himmäislämpötila jauhomatojen kasvuille on 10 °C (Punzo ja Mutchmor 1980) ja maksimilämpötila 30–35 °C (Martin ym. 1976, Punzo ja Mutchmor 1980, Koo ym. 2013, Ludwig 1956). Nämä ovat kuitenkin ääriolosuhteita ja normaaliin kehitykseen tarvitaan vähintään 17 °C:een lämpötila (Koo ym. 2013). Tä-män lajin eri kehitysvaiheiden lämpötilavaatimuksissa ei ole merkittäviä eroja, mutta lämpötila vaikut-taa kyllä jauhomatojen kehitysvaiheiden lukumäärään (Ludwig 1956, Ribeiro 2017).

5.3.2. Kosteus

Jauhomatojen kasvunopeus ja kehitysvaiheiden määrää on todettu olevan hyvin riippuvainen ilman-kosteudesta (Murray 1968, Urs ja Hopkins 1973). Jauhomatojen ja jauhopukkien kasvatuslaatikon op-timaalinen suhteellinen kosteus on noin 50–75 % (Manojlovic 1987, Punzo 1975, Punzo ja Mutchmor 1980, Cloutier 2015). Fraenkel ym. 1950 mukaan jauhomatojen kasvu on nopeinta, kun suhteellinen kosteus on 70 %, hidasta 30 %:ssa ja hyvin hidasta 13 %:ssa. Korkea kosteusprosentti on käytännössä kuitenkin ongelmallinen, koska se suosii homeiden, muiden mikro-organismien ja punkkien kasvua (Fraenkel ym. 1950).

Jauhomatojen kehitysvaiheet ovat lyhyempiä ja toukkamuotojen lukumäärä on suurempi 30 °C:ssa kuin 25 °C:ssa, jolloin myös toukkavaihe kestää kokonaisuudessaan kauemmin 30 °C:ssa kuin 25 °C:ssa

(Ludwig 1956). Alle 10 °C:een ja yli 35 °C:een lämpötilat aiheuttavat stressiä jauhomadoille, vaikka kylmäkoomalämpötila on ≤ 7 °C ja tappava lämpötila on ≥ 44 °C (Punzo ja Mutchmor 1980).

Myös jauhopukkinaaraiden ikä vaikuttaa jälkeläisten kehitysnopeuteen ja kehitysvaiheiden määrään (Ludwig ja Fiore 1960). Ludwig (1956) mukaan vanhempien naaraiden jälkeläisten toukka-aikainen kehitys on nopeampaa kuin juuri aikuistuneiden jauhopukkinaaraiden jälkeläisillä.

Jauhopukki tuottaa enemmän munia, kun suhteellinen kosteus kasvatuslaatikossa on noin 70 %. Alle 14 °C:n lämpötilassa ja 65 %:n suhteellisessa kosteudessa jauhopukit eivät muni enää ollenkaan, mutta jo 27 °C:n optimaalisessa lämpötilassa munita vähenee huomattavasti, jos suhteellinen kosteus on hyvin matala (20 %) (Dick 1937). Kylmissä lämpötiloissa 10 °C:ssa (Punzo 1975, Punzo ja Mutchmor 1980) ja 12,5 °C:ssa (Kim ym. 2015) veden imeytyminen vähenee ja alkion kehitys pysähtyy. Hyvin matalassa ilmankosteudessa (noin 12 %), muna menettää kosteutta ympäristöön ja kuivuu, jolloin se kuolee (Punzo ja Mutchmor 1980).

Jauhomadot kestävät paremmin ilmankosteuden vaihteluita kuin lämpötilan vaihteluita. Lämpötila ja suhteellinen kosteus molemmat vaikuttavat sekä kehitysvaiheiden määrään että kehitysvaiheiden kestoon. Kotelovaihe kestää parhaiten ääriolosuhteita, kun taas muna- ja nuoret toukat ovat herkimpiä lämpötilan ja kosteusolosuhteiden muutoksille (Punzo ja Mutchmor 1980).

Lämpötilan vaikutus tehostuu äärimmäisissä kosteusolosuhteissa ja kosteuden vaikutus on myös kriittisempi äärimmäisissä lämpötiloissa (Punzo ja Mutchmor 1980). Esimerkiksi optimaalisissa 25–27,5 °C:n lämpötiloissa jauhomadot tai jauhopukit eivät koe stressiä edes äärimmäisissä kosteusolosuhteissa ja pitkissä altistusjaksoissa. Jos kosteus laskee 25 °C:ssa, se ei ole niin merkityksellinen aikuisille, toukalle tai kotelovaiheelle, mutta jos lämpötila oli vain 10 °C, kosteuden väheneminen johti lisääntyneeseen kuolleisuuteen (Punzo ja Mutchmor 1980). Erittäin kuivissa olosuhteissa jauhomadot voivat lopettaa syömisen ja ne muuttuvat liikkumattomiksi, kunnes suhteellinen kosteus muuttuu jälleen suotuisaksi (Murray 1968, Ribeiro 2017).

5.3.3. Jauhomatojen kasvatustiheys

Optimaalinen jauhomatojen kasvatustiheys on 1,18 kpl/cm² (Wu 2009). Jos kasvatustiheys on liian suuri, kasvu ja kehitys hidastuvat tai estyvät, rehuhyötysuhde huononee, lisääntyminen hidastuu ja kannibalismi ja kuolleisuus lisääntyvät (Tschinkel ja Willson 1971, Weaver ja McFarlane 1990, Savvidou ja Bell 1994, Morales-Ramos ym. 2012, Morales-Ramos ja Rojas 2015). Lisääntymistä voidaan edistää pitämällä jauhopukkien kasvatustiheys riittävän matalana ja korvaamalla lisääntymisyksiköt 56–60 päivän välein. Jauhomatojen kasvatustiheys vaikuttaa myös kehitysvaiheiden lukumäärään (Connat ym. 1991, Ortiz ym. 2016)

Connat ym. (1991) mukaan riittävän harva kasvatus nopeuttaa jauhomatojen kehitystä kotelovaiheeseen ja vähentää jauhomatojen kasvuvaiheiden määrää. Myös Tschinkel ja Willson, (1971) ovat havainneet liian korkean kasvatustiheyden estävän koteloitumista ja lisäävän kannibalismia. Suuri toukkatiheys aiheuttaa myös lämpötilan nousua ja lämpötila voi nousta jopa tappavan korkeaksi (Ribeiro 2017).

5.3.4. Valojaksotus

Jauhopukki ja jauhomato viihtyvät hämärässä. Jauhomatojen kehitys on nopeampaa pitkän päivän olosuhteissa 14:10 (Kim ym. 2015). Valojaksoisuus vaikuttaa munien kuoriutumiseen. Pitkän päivän olosuhteissa (14:10) munista kuoriutui 45,5 %, mutta lyhyen päivän (10:14) olosuhteissa munista kuoriutui vain 24,2 % (Kim ym. 2015). Valojakson pituus vaikuttaa myös jauhomadon kehitysvaiheiden lukumäärään (Tyshchenko ja Ba 1986). Valojaksoisuus vaikuttaa myös koteloitumisaikaan. Tasapäivän (12:12) olosuhteissa (25 °C:ssa) koteloitumisaika oli lyhyempi kuin pitkänpäivän (14:10) tai lyhyenpäivän

(10:14) olosuhteissa, mutta toukka-aika kesti kauemmin (Kim ym. 2015). Tyshchenko ja Ba (1986) mukaan 30 °C:een lämpötila kääntää valojaksoisuuden vaikutuksen siten, että 25 °C:ssa tasapäivän olosuhteissa (12:12) koteloituminen käynnistyy, mutta 30 °C:ssa tasapäivän olosuhteet viivästyttävät koteloitumisen alkamista (Ribeiro 2017).

5.3.5. Hapen tarve

Loudonin (1988) jauhomatojen kasvatuskokeessa jauhomatoja kasvatettiin munasta aikuiseksi kolmessa happipitoisuudessa (21, 15 ja 10,5 %). Alimmalla happitasolla kasvatettaessa (10,5 %) jauhomadot kasvoivat paljon hitaammin kuin korkeammilla happitasoilla. Alemmalla happitasolla kasvatetuilla jauhomadoilla oli enemmän kehitysvaiheita kuin korkeammilla happitasoilla, mutta jauhomadot kasvoivat kuitenkin yhtä isoksi kuin korkeammilla happitasoilla kasvatetut jauhomadot. Korkeimmalla happitasolla koteloasteelle selvinneiden sukupuolijakauma oli tasan 1:1 (koiraat:naaraat), mutta alemmilla happitasoilla kasvatetuissa koteloidissa oli enemmän naaraspuolisia kuin koiraspuolisia. Alhaisemmilla happitasoilla kuolleisuus oli suurempaa ja myös kehityshäiriöitä esiintyi enemmän kuin korkeammalla happitasolla kasvatettaessa (Loudon 1988). Myös Greenbergin ja Arin (1996) havaintojen mukaan alhaisemmassa happipitoisuudessa toukkien kehitysvaiheita on enemmän ja toukkien kuolleisuus on korkeampi alhaisemmassa happipitoisuudessa.

5.4. Jauhopukkien ravintovaatimukset

Jauhopukki ja jauhomato ovat luonnossa sekaravinnon syöjiä eli ne syövät kaikenlaisia kasvi- ja eläinperäisiä aineita, kuten viljatuotteita, kuolleita hyönteisiä ja muita eläimiä sekä esim. höyheniä (Ramos-Elorduy ym. 2002, Cotton 1940). Jauhopukkien ja jauhomatojen kasvatuslaatikon kasvatusalusta toimii sekä ravintona, että munintamateriaalina. Kasvualustan paksuus on noin 4–6 cm (Martin ym. 1976). Yksinkertaisimmillaan jauhomatojen kasvatusalusta sisältää kokojyvävehnä jauhoja ja 5 % oluthiivaa (Fraenkel ym. 1950). Vaikka jauhomadot tulevat toimeen kasvualustalla, joka sisältää vain vehnänlesettä, niiden kasvu ja kehitys paranevat huomattavasti, kun käytetään kasvualustaa, joka sisältää monipuolisemmin erilaisia rehuaineita (Ribeiro 2017).

Kiinassa kasvatusalustana käytetään pääasiassa vehnänleseitä ja tuoreruokana erilaisia vihanneksia esim. porkkana, peruna, kaali tai kurpitsa (Ortiz ym. 2016, Ribeiro 2017). Jauhopukkien ja jauhomatojen ravinnon (vehnänlese ja erilaiset vihannekset) optimaalinen kosteuspitoisuus on noin 18 % (Wu 2009). Ortiz ym. (2016) mukaan sata jauhomatoa tarvitsee päivittäin noin 6–10 g vehnänleseitä ja 0,6–0,1 g tuoreita vihanneksia. Kaupallisessa tuotannossa vihanneksia tulisi lisätä 2 kertaa päivässä. Vihannekset pestään puhtaalla vesijohtovedellä ja kuivataan ilmassa mahdollisten torjunta-ainejäämien, mullan, pölyn ja muiden epäpuhtauksien poistamiseksi (Ortiz ym. 2016). Pilaantuneet tai syömättömät vihannekset on poistettava välittömästi. Toukkien jätteet (lanta ja kitiinikuoret) tulisi poistaa kasvatusastioista 3–5 päivän välein.

Monissa kokeissa on tutkittu ravinnon tasapainon merkitystä eri kehitysvaiheissa. Kasvualustan ravintosisältö vaikuttaa paljon jauhopukkien kehityskierron nopeuteen (Fraenkel ym. 1950, Martin ja Hare 1942, Morales-Ramos ym. 2013, 2010, Rho ja Lee 2016, Urrejola ym. 2011, van Broekhoven ym. 2015) ja kehitysvaiheiden määrään sekä eloonjäämiseen (Morales-Ramos ym. 2010, van Broekhoven ym. 2015). Ravinnon laatu vaikuttaa jauhopukkien hedelmällisyyteen (Urrejola ym. 2011), muninnan määrään ja muninta-ajan kestoon (Manojlovic 1987, Morales-Ramos ym. 2012). Hyvä ravinto lisää munien määrää ja vähentää aikuisten kuolleisuutta, jolloin jälkeläisiä saadaan enemmän (Gerber ja Sabourin 1984).

Kasvatusalustan proteiini:hiilihydraatti (P:H) suhde vaikuttaa voimakkaasti jauhopukin elinkaaren pituuteen ja jauhopukkien elinikään (Martin ja Hare 1942, Rho ja Lee 2016, Urrejola ym. 2011). Rho ja

Lee (2016) ovat tutkineet ravinnon P:H tasapainon vaikutuksia jauhopukin kehitysaikaan ja lisääntymiseen. Sekä naaraspuolisten kovakuoriaisten, että koiraspuolisten kovakuoriaisten elinikä jäi lyhyemmäksi silloin kun ravinnon proteiinipitoisuus oli paljon suurempi kuin hiilihydraattipitoisuus (P:H suhde 5:1). Keskimääräinen elinikä oli koiraspuolisilla kovakuoriaisilla pisin P:H suhteen ollessa 1:1 ja naaraspuolisilla molemmilla P:H suhteella 1:1 ja 1:5. Pariutuminen lyhensi huomattavasti sekä koiraiden, että naaraisten elinikää. Naaraisten muninta oli kaikissa ikäryhmissä merkittävästi korkeampi P:H suhteella 1:1 kuin P:H suhteella 1:5 tai 5:1, mikä johti korkeimpaan elinaikaiseen lisääntymistehokkuuteen P:H suhteella 1:1 (Rho ja Lee 2016).

Kun kovakuoriaiset pääsivät itse säätelemään ravinnon proteiinien ja hiilihydraattien saantia, niiden todettiin käyttävän ravinnokseen hieman enemmän hiilihydraatteja kuin proteiineja (koirailla P:H suhde 1:1,54–1:1,64 ja naarailla P:H suhde 1:1,3–1:1,36). Itse valittu P:H-suhde oli huomattavasti korkeampi naarailla kuin koirilla, mikä johtuu ilmeisesti siitä, että naaraisten proteiinien tarve on suurempi, koska ne tarvitsevat proteiinia munien tuottamiseen (Rho ja Lee 2016).

Martin ja Hare (1942) mukaan paras kasvualusta sisältää vähintään 50 % hiilihydraattia ja 15–25 % proteiinia. Ramos-Elorduy ym. (2002) mukaan optimaalisessa jauhomatojen kasvualustassa on noin 20 % proteiinia (DM). Proteiini vaikuttaa hyvin voimakkaasti kasvunopeuteen. Hiiva on optimaalinen proteiinin lähde. Sen on todettu nopeuttavan kasvua, parantavan rehuhyötysuhdetta ja vähentävän kuolleisuutta (Martin ja Hare 1942, van Broekhoven ym. 2015, Kim ym. 2016). Jauhomadot voivat käyttää ravinnokseen hyvin monenlaisia valkuaisaineita, paitsi prolamineihin kuuluvaa giadiinia, zeiniä tai fibriiniä (Fraenkel ym. 1950).

Jauhomadot tarvitsevat paljon hiilihydraatteja ja ilman hiilihydraatteja kasvu lähes pysähtyy. Kasvualustan optimaalinen hiilihydraattipitoisuus on noin 80–85 %. Jos kasvualustassa on vain 20 % hiilihydraatteja, kasvu on hyvin hidasta (Fraenkel ym. 1950). Kasvualustan hiilihydraattilähteenä on kokeiltu mm. glukoosia, tärkkelystä, sakkaroosia ja laktoosia sekä dekstriiniä. Vaikka Fraenkel ym. (1950) ei löytänyt mitään merkittäviä eroja jauhomatojen kasvussa käytettäessä hiilihydraatin lähteenä glukoosia tai tärkkelystä, Davis (1974) kasvatuskokeessa kasvu oli heikompaa käytettäessä hiilihydraattien lähteenä tärkkelystä, sakkaroosia tai laktoosia kuin glukoosia. Bakteriologinen dekstriini hiilihydraattilähteenä sai aikaan lähes kaksinkertaisen painonnousun verrattuna glukoosiin (Davis 1974). Martin ym. (1976) mukaan jauhopukit ja jauhomadot eivät voi sulattaa selluloosaa tai laktoosia.

Jauhomadot tarvitsevat steroleja, eli kasvualustassa tulisi olla vähintään 1 % kolesterolia tai kasvisterolia (Leclercq 1948). Rasvan määrällä ei ole todettu olevan ratkaisevaa merkitystä jauhopukkien kehitykselle, mutta jo hyvin pienetkin pitoisuudet (> 3 %) kasvualustassa voivat olla haitallisia (Martin ja Hare 1942). Jotkin B-ryhmän vitamiinit (esim. B3, niasiini) ja karnitiini ovat välttämättömiä (Carter ym. 1952, Fraenkel ja Chang 1954, Fraenkel ym. 1950). Jauhomatojen kivennäis- ja hivenainetarpeesta tiedetään vain vähän. Sinkki- ja kaliumtarpeelle on määritetty joitakin arvoja (Fraenkel 1958, Martin ym. 1976).

5.4.1. Kasvatusalustat

Jauhopukkeja ja jauhomatoja kasvatettaessa perusraaka-aineena kasvualustassa käytetään erilaisia viljatuotteita, lähinnä leseitä, hiutaleita (ei pikahiutaleita) tai täysjyväjauhoja (vehnä, kaura, maissi). Kasvualustassa voi myös käyttää vehnänalkioita, jyviä, ryynejä, muroja, leivänmuruja, myslä ja muuta kuitavaraa. Jauhomato kasvaa myös kasvualustassa, jossa on käytetty vain yhtä jauhoa tai lesettä. Esim. pelkkä kaurahiutale on edullinen kasvualusta. Yksistään jauhoja käytettäessä kasvualustasta voi tulla liian tiivis. Jos kasvualustan materiaali on hienojakoista (jauhoa), kasvualusta kannattaa laittaa kerroksittain kangaspalojen tai rypistetyn paperin kanssa, että kasvualustasta ei tule liian tiivistä (Ghaly ja Alkoai 2009). Leseet ja ryynit ilmastavat jauhoseosta hyvin. Parhaiten jauhomadot kasvavat kuitenkin

useamman erilaisen materiaalin seoksessa (Morales-Ramos ym. 2013, van Broekhoven ym. 2015). Monipuolisuus lisää matojen ravintoarvoa ja parantaa kasvua. Kasvattajat ovat saaneet hyviä kasvutuloksia Harri Suomalaisen kasvualustan reseptiä käyttämällä, joka on julkaistu Herpetomania lehdessä 1999 (Suomalainen 1999). Jauhoseos 1 sisältää 250 g vehnä jauhoja, 250 g kaurahiutaleita, 100 g ohra jauhoja ja 350 g vehnäleseitä. Jauhoseos 2 sisältää 250 g vehnä jauhoja, 250 g kaurahiutaleita, 100 g soijajauhoja, 70 g maissijauhoja, 30 g olut- tai kuivahiivaa ja 300g vehnäleseitä.

Jauhomatojen kehitykselle vitamiinipitoisuuden ja ravintoaineosuuksien tasapainottaminen on tärkeää. Jauhomatojen kasvatusalustan optimaalista koostumusta on tutkittu paljon ja kasvualustan optimaalinen koostumus on esitetty taulukossa 7. Jauhomatojen kasvualustassa optimaalinen hiilihydraattien määrä on korkea, 80–85 % (Fraenkel ym. 1950). Hiilihydraattilähde kasvualustassa voi olla yhtä hyvin glukoosi kuin tärkkelyskin (Fraenkel ym. 1950). Jauhomatojen ruoansulatus voi sulattaa hyvin monenlaisia hiilihydraatteja, mutta ei selluloosaa tai laktoosia (Martin ym. 1976).

Taulukko 7. Puhdistettu ihanteellinen kasvualusta jauhomatojen kasvatukseen (koottu julkaisuista McCollum ja Simmonds 1918, Fraenkel ja Blewett 1943, 1944, Fraenkel ym. 1950, Fraenkel ja Stern 1951, Fraenkel ja Leclercq 1956, Fraenkel 1958, Leclercq ja Lopez-Francos 1964; Ihanteelliset ympäristöolosuhteet kasville ovat ilmankosteus (RH) 70 % ja lämpötila 25 °C (Martin ym. 1976)).

Ainesosa	Määrä
Kaseiini (vitamiiniton), g	19,4
Glukoosi (vedetön), g	77,6
Kolesteroli, mg	970,0
Tiamiini-HCl, mg	2,5
Riboflaviini, mg	1,3
Nikotiinihappo, mg	5,0
Pyridoksiini-HCl, mg	1,3
Biotiini, mg	0,025
Kalsium pantotenaatti, mg	2,5
Foolihappo, mg	0,25
Inositoli, mg	25,0
Koliinikloridi, mg	50,0
Karnitiini, mg	0,3
Sinkkikloridi, mg	4,0
McCollumin suolasekoitus 185 nro 2, g	1,9

5.4.2. Jauhomatojen valkuaisaine- ja aminohappotarve

Ravinnon proteiinipitoisuus ja aminohappokoostumus vaikuttavat voimakkaasti jauhopukkien elinkaa- ren pituuteen, jauhomatojen kehitysaikaan, selviytymiseen ja kasvuun (Morales-Ramos ym. 2013, Oo- nincx ym. 2015a, van Broekhoven ym. 2015). Hiivaa pidetään parhaana proteiinilähteenä jauhoma- doille ja sen on todettu toimivan jopa syömistä stimuloivana aineena. Hiivalisäyksen on todettu no- peuttavan jauhomatojen kehittymistä ja kasvamista (Suomalainen 1999). Kuivahiiva sisältää tärkeitä ravintoaineita (proteiineja, vitamiineja ja hivenaineita), jotka ovat välttämättömiä hyönteisten ja touk- kien kasvuille. John ym. (1979) kokeessa jauhomadot kasvoivat 2,3–2,9 mg (tuorepaino) kasvualus- tassa, jossa ei ollut ollenkaan proteiinia, mutta kasvualusta, jossa oli hiivaa, tuotti 45,5–55,6 mg kasvua. Yksinkertainen jauhomatojen kasvatusalusta sisältää kokojyvävehnä jauhoja ja 5 % hiivaa (Fraenkel ym. 1950).

Valkuaisaineet eli proteiinit koostuvat aminohapoista. John ym. (1979) ovat tutkineet jauhomatojen kasvualustan optimaalista aminohappopitoisuutta. Tutkimusten perusteella jauhomadot kasvavat par- haiten, jos kasvualustan alaniini, arginiini, asparagiinihappo, kysteini, histidiini, isoleusiini, leusiini, me- tioniiini, proliini ja väliini aminohappojen pitoisuus kasvualustassa on samanlainen kuin näiden amino- happojen pitoisuus jauhomatojen kudoksissa. Fenyylialaniinin määräksi kasvualustassa riittää puolet jauhomatojen kudosten pitoisuudesta. Jauhomatojen kasvua rajoittavat yleensä treoniini ja trypto- faani, joiden pitoisuus tulisi olla jauhomatojen kasvualustassa kaksinkertainen jauhomatojen kudosten pitoisuuteen nähden (John ym. 1979). Karnitiini on välttämätön jauhomatojen kehitykselle ja kasvuille (Fraenkel ym. 1950). Johnin ym. (1978) mukaan 10 % aminohappoja vastaa 20 %:n proteiinipitoisuutta rehussa (Ribeiro 2017).

5.4.3. Jauhomatojen vitamiinitarve

Ritchot (1960) mukaan jauhopukki ja jauhomato eivät saa B-ryhmän vitamiineja suoliston pieneliös- töltä, koska jauhomadot eivät kasvaneet kokeessa ollenkaan, jos kasvualustassa ei ollut B-ryhmän vi- tamiineja. Jotkut B-vitamiinit ovat välttämättömiä tai erittäin tärkeitä jauhopukkien ja jauhomatojen kasvuille. Näistä kriittisimmät ovat riboflaviini (B2) ja pantoteenihappo (B5), joiden puute aiheuttaa jauhomatojen kuoleamisen aiemmin, kuin muiden B-ryhmän vitamiinien puutos (Fraenkel ym. 1950).

Myös tiamiini (B1), nikotiinihappo (B3) ja pyridoksiini (B6) vaikuttavat kasvuun ja kehitykseen (Fraenkel ym. 1950). Ilman biotiinia (B7) tai foolihappoa (B9) hyönteiset kehittyivät hyvin hitaasti (Ritchot 1960). Optimaaliseen kasvuun tarvitaan vähintään tiamiinia 1, riboflaviinia 2–8, nikotiinihappoa 16, pyridok- siinia 2, pantoteenihappoa 8, biotiinia 0,16, pteroyyylglutaminihappoa (=foolihappo, =folaatti) 0,12 ja koliinia 300 µg/g kasvualustan kuivapainoa kohti (Fraenkel ym. 1950).

Koliini, vaikka se ei olekaan tärkeä jauhomadoille, edisti hieman jauhomatojen kasvua, mutta inositolin tai para-aminobetsoehapon lisäyksellä kasvualustaan ei ollut kasvua parantavaa vaikutusta (Ritchot 1960). Myöskään A-, C-, D-, E- ja K-vitamiinien lisääminen rehuun ei edistänyt kasvua tai kehitystä (Fraenkel ym. 1950, Martin ja Hare 1942).

Karnitiini on välttämätön jauhomatojen kehitykselle ja kasvuille (Fraenkel ym. 1950). Fraenkel ja Chang, (1954) kokeessa jauhomadot näyttivät kasvavan normaalisti 4–5 viikkoa kasvualustalla, jossa ei ollut karnitiinia, mutta kuolivat sitten nopeasti, yleensä nahanluonnin jälkeen. Kun kasvualustaan lisättiin karnitiinia 0,35 µg/g kasvualustaa jauhomadot säilyivät hengissä ja saavuttivat 60–80 mg painon kym- menessä viikossa (30 °C ja 60 % ilmankosteudessa). Aikuiset jauhopukit tarvitsevat normaaliin kehityk- seen korkeamman karnitiinipitoisuuden 1,5 µg/g kasvualustaa (Fraenkel ja Chang 1954).

Jauhomadon kehitysvaihe vaikuttaa ravinteiden tarpeeseen. Suurimmillaan ravintoaineiden tarve on heti kuoriutumisen jälkeen. Toukkakehityksen puolivälin jälkeen ravinteiden tarve vähenee ja

täysikasvuiset jauhomadot eivät tarvitse enää vitaminilisiä tai steroleja loppuvaiheen kasvuun tai koteloitumiseen (Leclercq 1948).

Myös jauhomatojen kasvualustan energiapitoisuuden lisääminen lisää kasvunopeutta ja koteloiden kokoa (Morales-Ramos ym. 2011a, 2013), mutta se voi lisätä myös jauhomatojen kuolleisuutta (van Broekhoven ym. 2015). Kasvualustan energiasisällön nostaminen voi myös heikentää hyönteisten kykyä reagoida sairauteen (Krams ym. 2015, Ortiz ym. 2016).

5.4.4. Jauhomatojen sterolien tarve

Sterolit ovat hyönteisille välttämättömiä ravintoaineita (Chapman 1998). Steroleja tarvitaan mm. solukalvojen rakenteisiin, hormoneihin, pintavahoihin ja kitiinikuoren rakenteisiin. Jauhomatojen kasvualustassa on oltava kolestrolia tai muuta sterolia vähintään 1 % (Fraenkel ym. 1950). Kasvualustan 1 % kolesterolipitoisuus vaikuttaa riittävältä ja kasvualustassa voidaan hyödyntää monia erilaisia steroleja (Leclercq 1948). Hyönteiset saavat steroleja kolesterolista, kasvien kasvisteroleista ja sienten ergosterolista (Downer 1978, Cohen 2004). Kasvatettavien hyönteisten sterolitarpeet voidaan täyttää täydentämällä ruokavalioita kolesterolia sisältävillä raaka-aineilla, kuten munankeltuainen, maito, kalaöljy tai kasvisterolia sisältävillä raaka-aineilla, kuten kasviöljy, soijapavut tai maissi tai ergosterolia sisältävillä raaka-aineilla kuten hiiva. Ergosteroli on sienten solukalvon steroli (Cohen 2004).

Vaikka pieni määrä rasvaa jauhomatojen kasvualustassa on tarpeellinen, suuri pitoisuus rasvaa kasvualustassa vaikuttaa kuitenkin kasvua heikentävästi ja on mahdollisesti jopa haitallista. Vaikka kolesteroli on välttämätön ruokavalion ainesosa, yli 1 prosentin rasvapitoisuus ei kuitenkaan vaikuta olevan tarpeellinen missään jauhopukkien tai jauhomatojen kehitysvaiheissa (Fraenkel ym. 1950). Jo yli 3 %:n pitoisuus rasvaa kasvualustassa voi heikentää kasvua ja kehitystä (Martin ja Hare 1942). Alves ym. (2016) mukaan rehualustan suuri öljypitoisuus (29–37 %) aiheuttaa paakkuja kasvualustaan, jolloin kovakuoriaisten hengitys ja liikkuminen vaikeutuivat, koska hengitysaукot tukkeutuivat.

5.4.5. Kuidun tarve

Li ym. (2016) kokeessa jauhomatojen kasvualustassa käytettiin neljää erilaista raakakuitupitoisuutta (0, 5, 10, 20 %) ja siinä seurattiin jauhomatojen kasvua ja kehitystä. Tulokset osoittivat, että 5 %:n raakakuitupitoisuus edisti toukkien kehitystä ja kotelosta kuoriutumista. Optimaalinen kasvu ja kehitys saavutettiin 5–10 %:n raakakuitupitoisuudella. Koska raakakuitupitoisuus voi heikentää rehun maistuvuutta, Li ym. (2016) suosittelevat rehun (kasvualustan) raakakuitupitoisuudeksi 5 %.

5.4.6. Jauhomatojen rehunvalikointikyky

Jauhomadoilla on kyky valikoida rehu-aineita omien ravitsemuksellisten tarpeiden mukaan (Morales-Ramos ym. 2011a, Rho ja Lee 2016, Urrejola ym. 2011). Morales-Ramos ym. (2011a) jauhomatojen kasvatuskokeessa jauhomatojen kasvualustana käytettiin neljää erilaista rehua, joissa oli vehnälesettä ja kuivattuja perunahiutaleita 10, 20, 30 tai 40 %. Silloin, kun jauhomato sai vapaasti syödä kasvualustalta haluamansa määrän näitä raaka-aineita, se käytti ravinnokseen noin 20 % perunahiutaleita, silloin kun perunahiutaleita oli kasvualustassa enemmän kuin 20 %. 20 % perunahiutaleita kasvualustassa osoittautui myös kasvun ja kehittymisen suhteen parhaaksi (Morales-Ramos ym. 2011a).

5.5. Vesilähde ja tuoreruoka

Jauhopukki ja jauhomato voivat elää erittäin kuivissa olosuhteissa pitkiä aikoja, koska ne pystyvät hyödyntämään sekä ravinnossa olevaa, että ilmassa olevaa kosteutta (Fraenkel ja Blewett 1944). Toukat kasvavat kuitenkin huomattavasti nopeammin kosteissa olosuhteissa (yli 70 %), mutta näin korkea

kosteus lisää punkkien, sienien ja muiden mikro-organismien riskiä (Fraenkel ym. 1950). Kokeissa on havaittu, että kuivassa kasvualustassa kasvatetut jauhomadot kasvavat nopeammin, jos niille on tarjolla joku vesilähde (Mellandby ja French 1958, Oonincx ym. 2015a, Urs ja Hopkins 1973, Ribeiro 2017).

Jauhوماتojen vedentarpeen tyydyttämiseksi vettä sumutetaan kasvatuslaatikkoon tai vettä tarjotaan pienissä tarjoiluastioissa, jotka vaihdetaan parin päivän välein. Nämä menetelmät ovat kuitenkin työläitä. Käytössä on myös vettä absorboivia polymeerejä, kuten polyakryyliamidi, joka kyllästetään vedellä ja annostellaan kasvualustoihin tai kasvatusyksiköihin (Ribeiro 2017). Tämän tyyppisten polymeerien pitkäaikaisvaikutus jauhوماتojen kasvatuksessa ei kuitenkaan ole tiedossa, samoin kuin sen vaikutukset ihmisravinnoksi käytettävän hyönteisen tuotannossa. Toimivien kastelujärjestelmien puuttuminen on tällä hetkellä yksi este kaupalliselle jauhوماتojen tuotannolle (Ortiz ym. 2016).

Vaikka jauhوماتoja voidaan kasvattaa pelkästään vehnäleseissä, merkittäviä parannuksia kehitysaikaan, kannibalismiin, toukkien eloonjäämiseen, rehuhyötysuhteeseen ja aikuisten hedelmällisyyteen voidaan antamalla jauhomadoille myös tuoreruokaa. Tuoreruoka sopii porkkana, raaka puolikas peruna, omena tai kaalinpala. Myös keittiöstä ylijääneitä vihanneksia ja salaattia voi antaa tuoreruokana jauhomadoille, selleri, parsakaalin varret, kiivin kuoret jne. Peruna, porkkana ja kaali säilyvät parhaiten homehtumatta (Cotton 1940, Franklin 1940, van Broekhoven ym. 2015, Ghaly ja Alkoaik 2009, Suomalainen 1999).

Peruna ja omenalohkot kannattaa laittaa siten, että kuoripuoli tulee kasvatusalustaa vasten, että tuoreruoka ei kastele kasvualustaa. Tuoreruoka voidaan asettaa metallisen tai muovisen kannen, alumiinifolion, pahvin tai paperin päälle, että pohjamateriaali pysyy kuivana, eikä homehdu (Cotton 1940, Ghaly ja Alkoaik 2009). Tuoreruoka kannattaa tarkastaa päivittäin ja pilaantunut tuoreruoka pitää poistaa kasvualustalta välittömästi, koska se homehtuu nopeasti. Jos kasvulaatikossa käytetään lämpölamppua lämmönlähteenä, tuoreruoka kannattaa peittää liinalla, ettei se kuivu liian nopeasti lämpölamppun alla. Jos on vaara, että vihanneksissa tai hedelmissä on torjunta-ainejäämiä, ne kannattaa pestä ja mahdollisesti myös kuoria.

Jauhomadot tulevat toimeen myös ilman tuoreruokaa, sillä ne kykenevät hyödyntämään kasvatuslaatikon ilman ja kasvualustan sisältämää kosteutta (Dunbar ja Winston 1975, Machin 1976). Veden vähyys hidastaa kuitenkin huomattavasti elinkiertoa ja tällöin odotettavissa on vain yksi sukupolvi vuodessa. Tämä johtuu ilmeisesti siitä, että aktiivinen vesihöyryn hyödyntäminen vaatii paljon metabolista energiaa (Hansen ym. 2004). Tuoreruosta jauhopukit ja jauhomadot saavat tarvitsemansa veden ja kosteuden sekä vitamiineja ja muita tärkeitä ravintoaineita (Martin ym. 1976, van Broekhoven ym. 2015).

5.6. Sivuvirtojen käyttö jauhوماتojen kasvatuksessa

Ramos-Elorduy ym. (2002) jauhوماتojen kasvatuskokeessa kasvualustassa käytettiin monenlaisia kasviperäisiä raaka-aineita mm. hedelmien ja vihannesten kuorinta- ja prosessointijätteitä, papuja, leipää, maissia ja riisiä. Kasviperäisiä jätteitä (raakaa tai kypsytettyä) kuivattiin 50 °C:ssa kolme vuorokautta. Tämän jälkeen materiaalit koottiin erilaisiksi yhdistelmiksi, jauhettiin ja sekoitettiin rehuiksi. Kasvipiperäisistä jätteistä (70–80 %), hiivasta (5–10 %) ja jauhوماتojen kuonaeritteestä eli ulosteesta (15–25 %) koottiin kokeeseen viisi erilaista kasvualustaa. Nämä kasvualustat oli koostettu niin, että ne sisälsivät 20 % proteiineja. Verrokkina käytettiin jauhوماتojen kasvualustaa, jossa oli 90 % vehnän leseitä ja 10 % hiivaa (painosta), jolloin siinä oli 22,46 % proteiineja, joista 17,06 % tuli leseistä ja 5,4 % hiivasta. Tässä kokeessa kasvatettuja jauhوماتoja käytettiin menestyksekkäästi siipikarjan rehussa (Ramos-Elorduy ym. 2002). Li ym. (2013) ovat kasvattaneet jauhوماتoja menestyksekkäästi kasvatusalustalla, jossa oli leseitä, olkia ja vanhoja lehtiä. Tässä kokeessa kasvualustassa käytettyjen olkien sulavuutta oli parannettu fermentoimalla. Jauhوماتojen kasvatuskokeita on tehty myös Suomessa

Luonnonvarakeskuksessa Jokioisen toimipisteessä. Kasvatuskokeissa jauhomatojen rehuseoksiin käytettiin mm. kotimaisia valkuaislähteitä kuten kalajauho, rypsipuriste ja härkäpapu sekä kotimaisia teollisuuden sivuvirtoja kuten perunaproteiini, ohrarehu, olutmäski, kuivattu herne ja porkkana (Hirvisalo ym. 2018, Mäki ym. 2018).

5.7. Jauhomatojen kasvatuksen haasteita

Jauhomatojen kasvatuksen synkronointi massatuotannossa on ongelmallista, koska samanikäiset madot kehittyvät eri aikaan (Morales-Ramos ym. 2010, 2015) ja jauhomatojen eri kehitysvaiheiden määrä vaihtelee (Cotton ja George 1929, Esperk ym. 2007, Ortiz ym. 2016). Morales-Ramos ym. (2011b) kehittämä erottelulaite (separaattori) koostuu kolmesta erikokoisesta siivilästä. Kuljetin kuljettaa massan (madot ja kasvualusta) separaattorin yläosaan, josta massa kulkeutuu alaspäin. Tämä separaattori erottaa automaattisesti suuret, keskisuuret ja pienet jauhomadot sekä kasvualustan toisistaan. Ensimmäisen ja toisen siivilän reiät ovat suorakaiteen muotoisia, jolloin pitkänomaiset madot menevät niistä helpommin läpi. Kolmas siivilä on tavanomainen standardi nro 35 (500 µm), jossa on neliömäiset aukot ja kasvualusta menee helposti siitä läpi, mutta madot jäävät siivilään (Morales-Ramos ym. 2011b).

Jauhomatojen erottelu koon mukaan on tärkeää myös sen vuoksi, että saadaan eroteltua kotelot, joiden annetaan kuoriutua ja lisääntyä. Yleensä sukua jatkamaan valitaan suurimman kokoluokan matoja (Ortiz ym. 2016). Vaikka jauhomatoja erotellaan kokoluokittain, ne kuitenkin koteloituvat eri aikaan, jolloin kannibalismien riski kasvaa. Useissa lähteissä on dokumentoitu jauhomatojen nakerteleavan kotelon, jos siihen tulee tilaisuus (Martin ym. 1976, Weaver ja McFarlane 1990, Morales-Ramos ym. 2010, 2012).

Monissa kaupallisissa tuotantolaitoksissa jauhomadot kasvatetaan kokoluokkia erottelematta samassa kasvatustilassa ja menetykset kannibalismien vuoksi hyväksytään ja siedetään (Ortiz ym. 2016). Kotelovaiheeseen kohdistuvaa kannibalismia ei voida täysin eliminoida, koska viimeisessä kehitysvaiheessa yksilöiden kehittämisessä koteloksi voi olla eroa jopa yli 30 päivää (Morales-Ramos ym. 2010). Koteloiden poimiminen kasvualustasta päivittäin vähentää kannibalismia, mutta lisää työvoiman tarvetta (Ortiz ym. 2016).

6. Mustasotilaskärpänen (*Hermetia illucens*)

Asekärpästen heimoon (Stratiomyidae) kuuluva mustasotilaskärpänen (*Hermetia illucens*) on nimensä mukaisesti musta 13–20 mm pitkä kärpänen. Sen alkuperä on trooppisessa Amerikassa ja Australiassa, mutta se on levinnyt ihmisen mukana maailmanlaajuisesti päiväntasaajan molemmiin puolin aina 45° leveyspiireille saakka (Sheppard ym. 1994, Caruso ym. 2013). Mustasotilaskärpänen on kasvattanut suosiotaan mahdollisena hyönteisproteiinin tuottajana, koska se on levinnyt laajalle ja sen yhdyskunnat ovat suhteellisen helppoja ylläpitää (Tomberlin ym. 2015). Mustasotilaskärpäsiä kasvatetaan myös Luonnonvarakeskuksen Jokioisten toimipaikan InsectLabissa (kuva 8).



Kuva 8. Mustasotilaskärpäsen kasvatukseen liittyvää laitteistoa Luken Jokioisten toimipisteessä.

6.1. Mustasotilaskärpäsen elinkaari

Mustasotilaskärpäsen elinkierron pituus vaihtelee kuudesta viikoista useisiin kuukausiin riippuen lämpötilasta ja ravinnon laadusta ja määrästä. Optimioloissa mustasotilaskärpäsen elinkierto on hyvin nopea, noin 45 päivää. Mustasotilaskärpäsillä on täydellinen muodonvaihdos, joka on hyönteisillä yleisin. Elinkierto koostuu neljästä vaiheesta, muna, toukka, kotelo ja aikuinen (Park 2016).

Aikuisvaiheessa kärpäsillä ei ole purevia suuosia, joten ne eivät tarvitse ollenkaan ravintoa, mutta ne tarvitsevat kuitenkin jonkinlaisen vedenlähteen (Caruso ym. 2013). Koska ne eivät etsi ravintoa, ne eivät ole potentiaalisia tautien levittäjiä. Ne eivät myöskään pure. Aikuiset sotilaskärpäset eivät juuri poistu elinalueeltaan, eivätkä ne lennä pitkiä matkoja, joten karanneet yksilöt on helppo pyydystää (Park 2016, Ussery 2009).

Aikuinen mustasotilaskärpänen elää vain 5–9 päivää. Mustasotilaskärpäset parittelevat kahden päivän kuluttua muodonvaihdoksesta (Tomberlin ja Sheppard 2002). Kahden vuorokauden kuluttua parittelusta naaras munii päiväsaikaan munaröykkiön (noin 500–900 munaa) rakoihin lähelle kosteaa ravintolähdettä (Booth ja Sheppard 1984, Tomberlin ym. 2002). Muna on noin 1 mm pitkä ja väriltään kerma-vaalea (Díclaro ja Kaufman 2009). Munintaa varten kasvatusmateriaalin (eli jätteen) päälle

asetellaan munintapahveja, joissa on sopivia rakoja. Näin munista kehittyvät toukat tippuvat ravintoalustalle lähtiessään liikkeelle (Donahue 2017).

Munien kuoriutuminen toukaksi kestää optimiolioissa noin neljä päivää (Booth ja Sheppard 1984, Tomberlin ym. 2002). Kuoriutuva toukka on jalaton ja siivetön. Ravintomateriaaliin tippuneet toukat hyödyntävät tehokkaasti ravintoa ja kasvavat nopeasti. Toukkavaihe kestää noin 18 päivää. Mustasotilaskärpäsien toukat varastoivat toukkavaiheessa paljon energiaa ja proteiineja kotelovaihetta ja aikuisvaihetta varten, koska toukkavaiheessa kerätyn vararavinnon pitää riittää myös aikuisvaiheessa (Park 2016). Toukka voi olla jopa noin 27 mm pitkä ja 6 mm leveä. Toukka on väriltään vaalea, mutta sen pää on musta (Park 2016).

Riippuen toukkien koosta, ravintomateriaalista ja ympäristöolosuhteista (esim. kosteudesta, lämpötilasta ja ravintomateriaalin ilmavuudesta), toukat kuluttavat 25–500 mg orgaanista ainesta toukkaa kohden päivässä (Makkar ym. 2014). Toukka-jätemassa pysyy hyvin ilmavana ja sen vuoksi se ei yleensä haise. Toukka-jätemassassa eivät pysty muut kärpäset kehittymään (Sheppard ym. 1994). Jättemateriaalista riippuen, mustasotilaskärpäsien toukat voivat vähentää sianlantaa noin 39 % (Newton ym. 2005), kananlantaa 50 % (Sheppard ym. 1994) ja yhdyskuntajätettä 68 % (Diener ym. 2011). Varsinaisen toukkamassan lisäksi syntyy myös rakeista, hajutonta jätemassaa, jota voidaan käyttää orgaanisena lannoitteena (Lohri ym. 2017).

Mustasotilaskärpästen toukka on erittäin mukautuva vastaamaan muuttuvia ympäristöolosuhteita. Jos ravinto loppuu, toukat jäävät lepovaiheeseen, kunnes lisää ruokaa on saatavilla. Talvella ne viivästyttävät kehittymistä useita kuukausia ennen kehityksen jatkamista (Ussery 2009).

Toukat luovat nahkansa kuusi kertaa ja tämä mahdollistaa nopean kasvamisen. Ne keräävät runsaan vararavinnon (paljon rasvaa) toukkavaiheessa seuraavia kehitysvaiheita varten. Viimeisen (kuudennen) toukkavaiheen aikana ennen koteloitumista (esikotelovaihe) toukat tyhjentävät suolensa, suuosista muodostuu liikuntaraajat ja esikotelo jättää kasvualustansa. Esikotelo (15–20 mm pitkä) lähtee ryömimään yläviistoon, tarkoituksenaan löytää kuiva ja suojainen paikka koteloitumista ja muodonmuutosta varten (Sheppard ym. 1994, Park 2016). Luonnossa mustasotilaskärpäsien esikotelo kaivautuu maahan. Tätä vaelluskäyttäytymistä voidaan käyttää hyödyksi rakentamalla ramppi tai putki kasvumateriaalista yläviistoon, joka johtaa keräilyastiaan, jolloin esikotelot tavallaan ”harvestoivat” itse itsensä kasvualustasta (Sheppard ym. 1994). Kaivautumismateriaali ei ole välttämätön koteloitumiselle. Materiaalin oletetaan kuitenkin suojaavan koteloa kuivumiselta. Holmesin ryhmän (2012) tutkimuksissa kotelosta kuoriutui 93 %, kun ilmankosteus oli 70 %:ssa. Kotelovaihe kestää yleensä noin kaksi viikkoa tai pidempään riippuen ravintomateriaalista (Tomberlin ym. 2002) ja ympäristöolosuhteista (Tomberlin ym. 2009, Holmes 2010). Kotelovaiheen aikana tapahtuu muodonmuutos ja kotelosta kuoriutuu aikuinen mustasotilaskärpänen (Tomberlin ym. 2002, Holmes ym. 2012, 2013).

6.2. Mustasotilaskärpäsien toukan kasvatusta

Mustasotilaskärpäsien kasvatuksesta on viime aikoina ilmestynyt ainakin kolme opasta Caruso ym. (2013), Donahue, (2017), Park (2016). Donahue (2017) mukaan mustasotilaskärpästen tuotannon helpoin vaihe on saada toukat kasvamaan, mutta ongelmallisempaa on saada ne massatuotannon ehdoilla parittelemaan, munimaan, kasvamaan nopeasti toukkina, koteloitumaan ja kuoriutumaan aikuisiksi kärpäsiiksi jatkuvana syklinä. Laboratorion kasvatusympäristössä on esimerkiksi havaittu, etteivät kaikki lajit lisäännä, jos ympärillä on liikaa lajitovereita. Lisäksi kärpästen vaatimien kasvatusmenetelmien kehittämisessä on vielä paljon työtä. Eri hyönteislajien elintavat ja niiden vaatimat elinympäristöt eroavat usein toisistaan (Donahue 2017).

6.3. Mustasotilaskärpäsen toukkien kasvatuslaatikko

Niillä alueilla, joissa mustasotilaskärpää esiintyy luonnostaan, voi mustasotilaskärpäselä tehdä itse kasvatuslaatikon ulkokasvatukseen (Ussery 2009). Kasvatuslaatikko suojaa toukkia mahdollisilta saalistajilta ja sateelta. Kasvatuslaatikon keskellä on syvennys ja verkkopohja, josta ylimääräinen neste valuu pois kasvatuslaatikosta. Laatikossa tulee olla kulkuaukko, josta mustasotilaskärpäsnaaraat pääsevät jättemateriaalin lähelle laskemaan muniaan. Mustasotilaskärpäsen kasvatusastiassa olennaista on mustasotilaskärpästen esikoteloille rakennettu poistumisramppi, jota pitkin ne voivat ryömiä pois kasvualustasta koteloitumista varten (Ussery 2009).

Jos rampin kaltevuus on vähemmän kuin 35 astetta, toukat pystyvät hyvin ryömimään ramppia ylös. Poistumisramppi johtaa keräilyastiaan, josta esikotelot on helppo kerätä jatkokäsittelyä varten (Kalová ja Borkovcová 2013). Osan toukista annetaan kaivautua kuivumiselta suojaavaan materiaaliin ja niiden annetaan koteloitua, että saadaan aikuisia mustasotilaskärpäsiä turvaamaan mustasotilaskärpästen tuotanto jatkossakin (Ussery 2009). Toukkien aktiivisuus tuottaa lämpöä, joten ulkona oleva kasvatuslaatikko on parasta sijoittaa varjoon, että jättemassa ja siinä elävät toukat eivät pääse ylikuumenemaan. Uutta rehua (jättemateriaalia) lisätään vain tarpeen mukaan, koska kasvualustan on pysyttävä ilmastana. Kasvualusta kastellaan sumuttamalla, jolloin ylimääräinen vesi valuu kasvatuslaatikon keskeltä alaosaan pois. Mustasotilaskärpäsen kasvatukseen on olemassa myös kaupallisia suljettuja kasvatuskammioita, joita voi ostaa valmiina esim. BioPod™ tai Farm 432 (Ussery 2009, Kalová ja Borkovcová 2013).

6.4. Mustasotilaskärpäsen kasvatusolosuhteet

6.4.1. Lämpötila

Mustasotilaskärpäsen on erittäin herkkä lämpötilan vaihteluille. Mustasotilaskärpäsen optimaalinen kasvatuslämpötila kaikille kehitysvaiheille 25–32 °C (Tomberlin ym. 2009, Tomberlin ja Sheppard 2002). Aikuiset sotilaskärpäset parittelevat ja munivat yli 24 °C:n ja jopa 40 °C:n lämpötiloissa. Booth ja Sheppard (1984) tutkimuksen mukaan optimaalinen lämpötila naaraan muninnalle luonnossa on 27,5–37,5 °C, jolloin havaittiin 99,6 % kaikista munintatapahtumista.

Tomberlinin ym. (2009) testasi kokeessaan lämpötilan vaikutusta mustasotilaskärpäseen ja sen kehitykseen. Tässä kokeessa todettiin mustasotilaskärpäsnaaraiden ja koiraiden ja kaikkien kehitysvaiheiden olevan pitkäikäisimpiä 27 °C:ssa (Tomberlin ym. 2009). Tutkimuksessa todettiin, että pienempikoiset aikuiset ja lyhyempi aikuisen elinikä korreloivat lämpötilan noustessa, koska aineenvaihdunta ja kasvu ovat korkeammassa lämpötilassa nopeampia. Mustasotilaskärpäsen kotelovaihe kesti 27 °C:n lämpötilassa 2,5 päivää pitempään kuin 30 °C:ssa. Kotelovaiheesta aikuiseksi kehittyi 27 °C:ssa 83,2–91,8 % ja 30 °C:ssa 74,2–96,7 %. Jos lämpötila kohoaa tästä vielä korkeammalle 30–36 °C:een, mustasotilaskärpäsen kehitys heikkenee voimakkaasti (Tomberlin ym. 2009).

6.4.2. Ilmankosteus

Myös riittävä ilmankosteus on tärkeää mustasotilaskärpäsen kasvatuksessa. Erityisen kriittinen riittävä ilmankosteus on munavaiheessa, koska muna menettää helposti kosteutta munankuoren läpi ympäristöön, jos ympäristön kosteus on liian alhainen, jolloin muna kuivuu ja kuolee. Holmes ym. (2012) tutkimuksessa jo 25 %:n suhteellinen ilmankosteus aiheuttaa mustasotilaskärpäsen munien kuivumisen ja kuolleisuuden lisääntymisen. Aikuiset kärpäset elävät 70 %:n suhteellisessa ilmankosteudessa 2–3 kertaa pidempään kuin alhaisemmassa ilmankosteudessa (Holmes ym. 2012). Mustasotilaskärpäsen kaikkien kehitysvaiheiden optimaalinen ilmankosteus 60–70 % (Tomberlin ym. 2009, Holmes ym. 2012). Suhteellinen ilmankosteus 30–90 % edistää pariutumista ja munintaa, kun munat ja toukat

kasvatetaan 27 °C:n lämmössä. Laaja suhteellisen ilmankosteuden vaihteluväli osoittaa mustasotilaskärpäsien kykyä sopeutua, silloin kun lämpötila pysyy tasaisena (Sheppard ym. 2002, Park 2016).

6.4.3. Valojaksotus

Optimaalinen valotaksoitus mustasotilaskärpäsien kasvatuksessa on 14:10 (valo:pimeä), eli neljä tuntia enemmän valoa kuin pimeää jaksoa (Tomberlin ym. 2009). Valonlähde ja laatu ovat myös ratkaisevia tekijöitä. Mustasotilaskärpäset eivät parittele luonnossa talviaikaan, koska parittelun käynnistämiseen tarvitaan auringonvaloa (Park 2016). Mustasotilaskärpästen kasvatus sisätiloissa edellyttää siis oikeanlaista keinovalaistusta. Zhang ym. (2010) kokeessa 85 % parittelusta tapahtui aamulla, suorassa auringonpaisteessa, valotehon ollessa $110 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Valotehon ylittäessä $110 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ paritteluaktiivisuus väheni. Kvartsijodilamppu (500 W, $135 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) stimuloi parittelua ja munintaa lähes luonnollista auringonvaloa vastaavalla tehokkuudella. Parittelukäyttäytymisen aktivoimiseksi mustasotilaskärpäsellä suositellaan aallonpituuksia 450–700 nm (Zhang ym. 2010).

6.4.4. Kasvutiheys

Mustasotilaskärpäsien toukan tilan tarve riippuu toimintaparametreista, kuten toukkien tiheydestä ja rehun lisäysnopeudesta. Näiden parametrien määrittely edellyttää valintaa suuren jätteen vähentämisen (korkea toukkien tiheys ja alhainen jätteiden syöttönopeus) tai korkean biomassan tuotannon (matalan toukkatiheys ja korkea jätteiden lisäysnopeus) välillä (Parra Paz ym. 2015). Parra Paz ym. (2015) tutkimuksessa määritettiin mustasotilaskärpäsien toukkien optimaaliset olosuhteet toukkien tiheydelle ja rehumäärän lisäykselle. Optimaalinen toukkatiheys oli kokeessa 1,2 toukkaa/cm² rehunlisäysmäärän ollessa 163 mg/toukka/vrk (kuiva-aineena) mikä tuottaa 1.1 kg/m²/vrk jäännöskompostia ja 59 g/m²/vrk toukkamassaa (kuiva-aineena). Biomassan tuoton maksimoimiseksi toukkia voi olla korkeintaan 5 toukkaa/cm² ilman merkittävää vaikutusta prosessiin niin kauan kuin rehunlisäysmäärä ei ole suurempi kuin 95 mg/toukka/vrk (kuiva-aineena) (Parra Paz ym. 2015).

Diener ym. (2009) tutkimuksessa optimaalinen rehumateriaalin väheneminen (41,8 %) ja toukkamassan tuotanto (esikotelon paino 48,0 mg kuiva-aineena) saavutettiin päivittäisellä 100 mg:n rehuannoksella (kananruoka, 60 % kosteuspitoisuus) toukkaa kohden.

6.5. Mustasotilaskärpäsien ja toukan ravintovaatimukset

Mustasotilaskärpäset eivät tarvitse aikuisena ravintoa, koska ne käyttävät aikuisvaiheessa toukkavaiheessa varastoimaansa energiaa, mutta ne tarvitsevat kuitenkin jonkinlaisen vedenlähteen. Vettä voidaan esim. sumuttaa kasvatustilan pinnoille, josta aikuinen kärpäsen saa tarvitsemansa nesteen (Park 2016, Ortiz ym. 2016).

Toukkavaiheen ravintoalustalla on enemmän erilaisia vaatimuksia, tärkein on melko korkea ravintoalustan vesipitoisuus (Park 2016). Vaikka mustasotilaskärpäsien toukat pystyvät kasvamaan myös nestemäisessä kasvualustassa, vaikuttaa siltä, että suurin osa toukista pystyy kehittymään vain kosteissa tai puolikosteissa olosuhteissa. Mustasotilaskärpäsien toukkien kasvatusalustan (ravinnon) suotuisa vesipitoisuus on melko korkea 60–90 %, jolloin toukat pystyvät parhaiten syömään sitä (Donahue 2017). Tämän vuoksi paljon vettä sisältävistä jätteistä (hedelmät, vihannekset ja lietemäinen lanta) täytyy poistaa vettä ja kuiviin komponentteihin vettä joudutaan lisäämään (Lohri ym. 2017). Mustasotilaskärpäsien toukkien optimaalinen kasvu edellyttää kasvualustan riittävää proteiinipitoisuutta ja helposti sulavia hiilihydraatteja. Tutkimuksissa on todettu, että toukkien ravinnon hyödyntäminen paranee, jos ravintomateriaalia ovat jo hajottaneet bakteerit ja sienet. Kasvualustan ravintoaineiden hyödyntäminen on helpompaa, jos kasvualustan partikkelit ovat pieniä tai jopa nestemäistä tahnaa (Donahue 2017).

Mustasotilaskärpäsien toukkien kasvuvauhti ja siten myös jätteiden väheneminen ja biokonversioaste riippuvat useista tekijöistä, kuten raaka-aineen lämpötilasta ja kosteuspitoisuudesta (Tomberlin ym. 2009, Tomberlin ja Sheppard 2002). Toukat kuluttavat orgaanista ainesta päivässä noin 25–500 mg/toukka (Makkar ym. 2014), riippuen toukkien koosta, ravintomateriaalista ja ympäristöolosuhteista (esim. kosteus, lämpötila, ja ilmanvaihto).

Bulak ym. (2018) mustasotilaskärpäsien toukkien kasvatuskokeessa toukat kasvatettiin 28 °C lämpötilassa kasvualustan vesipitoisuuden ollessa 50–80 %. Toukkien kasvualustassa oli proteiinia 25 %, 5 % rasvaa tai öljyä, raakakuitua 5,8 %, tuhkaa 5,7 %, lysiiniä 1,25 %, kalsiumia 1 %, fosforia 0,97 %, metioniinia 0,4 % ja natriumia 0,05 % (kuiva-aineessa). Liiallinen proteiini kasvualustassa voi olla toukille vahingollista. Gobbi ym. (2013) kasvatti kokeessaan mustasotilaskärpäsien toukkia rehulla, joka koostui ainoastaan jauhetusta lihasta ja vedestä, jolloin toukkien kuolleisuus kasvoi ja kehittyminen oli hitaampaa kuin kontrollirehulla (kananrehu).

6.6. Mustasotilaskärpäsien toukan käyttö lannan käsittelyssä

Mustasotilaskärpäsien toukat ovat yksi tehokkaimpia biomassan hyödyntäjiä (Pastor ym. 2015). Jos mustasotilaskärpäsien toukkia kasvatetaan tekniseen käyttöön esim. biodieselin tuotantoon, niitä voidaan ruokkia orgaanisilla jätteillä ja jäämätuotteilla kuten pilaantunut tai käyttämätön ruoka tehtaista, ravintoloista, yksityisiltä, kaupoista, myyntiin kelpaamattomat liha- ja maitotuotteet, hedelmät ja vihannekset, jne. (Diener ym. 2011, Leong ym. 2016, Nguyen ym. 2015, Parra Paz ym. 2015, Makkar ym. 2014, Zheng ym. 2011). Toukat pystyvät käyttämään ravintonaan myös eläinten lantaa (Myers ym. 2008, Moula ym. 2018, Oonincx ym. 2015b) ja ihmisten ulosteita (Banks ym. 2014), keittiöjätteitä (Nguyen ym. 2015) ja selkärankaisten ruhoja (esim. sian ruhot) (Tomberlin ym. 2005). Parhaiten mustasotilaskärpäsien kasvatukseen soveltuvat vähän kuitua sisältävät sian- ja kananlannat (Li ym. 2011, Sheppard ym. 1994, Yu ym. 2011) ja ihmisten ulosteet (Banks ym. 2014, Lalander ym. 2013) sekä kalajätteet (St-Hilaire ym. 2007b). Kuivat, kuitumaiset ja paljon selluloosaa sisältävät kasvijätteet (esim. ruoho, lehdet, varret, paperi ja pahvi) eivät sovellu suurissa määrin mustasotilaskärpäsien toukkien kasvatukseen (Lohri ym. 2017).

Mustasotilaskärpäsien toukat pystyvät muuntamaan arvotonta jätettä arvokkaaksi biomassaksi, joka sisältää noin 40 % proteiinia ja 30 % rasvaa (Sheppard ym. 1994, 1998, Newton ym. 2005). Samalla alkuperäisen jätteen määrä vähenee huomattavasti. Toukat voivat vähentää kahdessa viikossa jättemassan painoa 50–80 % ja muuntaa siitä jopa 20 % toukkabiomassaksi (Diener ym. 2011, Lalander ym. 2015). Kasvatuskokeissa toukkien on todettu vähentävän esim. sianlantajätettä 39 % ja kananlantajätettä 50 % (Newton ym. 2005, Sheppard ym. 1994) ja yhdyskuntajätettä 68 % (Diener ym. 2011).

Myers ym. (2008) ovat tutkineet lannan ravinteiden vähenemistä mustasotilaskärpäsien toukkien avulla. Tutkimuksissa on todettu lehmän lannan liukoisen fosforin pitoisuuden vähenevän 61–70 % ja typpipitoisuuden 30–50 % mustasotilaskärpäsien toukkien käsittelyssä. Newton ym. (2004) kokeessa mustasotilaskärpäsien toukat pystyivät vähentämään sianlannan typpipitoisuutta 55 %, fosforipitoisuutta 44 % ja kaliumpitoisuutta 53 %. Muut tutkitut aineet kalsium (Ca), magnesium (Mg), rikki (S), mangaani (Mn), sinkki (Zn), kupari (Cu) ja natrium (Na) vähenivät 45–56 %, mutta rauta (Fe) pitoisuus lisääntyi 3 %. Sheppard ym. (2007) mukaan mustasotilaskärpäsien toukat pystyivät vähentämään sianlannan typpipitoisuutta 71 %, fosforipitoisuutta 52 % ja kaliumpitoisuutta 52 %. Muut tutkitut aineet boori (B), kalsium (Ca), kadmium (Cd), kromi (Cr), kupari (Cu), rauta (Fe), magnesium (Mg), lyijy (Pb), rikki (S) ja sinkki (Zn) vähenivät 38–93 %.

Mustasotilaskärpäsien toukat vähentävät muiden kärpäslajien esiintymistä, koska toukka-jättemateriaalissa eivät muut kärpäslajit pysty kasvamaan (Newton ym. 2005, Ussery 2009). Toukat vähentävät myös lannan aiheuttamia hajuhaittoja (Sheppard ym. 2007). Aerobinen jättemassa estää myös

anaerobisien bakteereiden lisääntymistä. Erickson ym. (2004) kokeessa toukkien aktiivisuus vähensi yhdeksän kemiallisen yhdisteen hajuja tai poisti ne kokonaan vuorokauden kuluessa (Erickson ym. 2004). Mustasotilaskärpäsen toukkien on todettu muokkaavan lannan mikrobistoa ja jopa alentaen haitallisten koli- ja salmonellabakteerien määrää (Erickson ym. 2004, Liu ym. 2008). Erickson ym. (2004), kokeessa todettiin toukkien aktiivisuuden vähentävän merkittävästi *Escherichia coli* ja *Salmonella enterica* bakteerien määrää kananlannassa.

Lalander ym. (2013) tutkimusten perusteella lantaan jää kuitenkin vielä muita taudinaiheuttajia, kuten *Enterococcus* spp. bakteereja, bakteriofageja ja loismatojen munia. Myös jätemateriaalissa olevat raskasmetallit voivat rikastua toukkiin ja esikoteloihin (Diener ym. 2015, Biancarosa 2017, Purschke ym. 2017). Toisaalta sotilaskärpäsen toukkamateriaali pystyy ilmeisesti myös nopeuttamaan joidenkin lääkkeiden ja torjunta-aineiden hajoamista. Lalander ym. (2016) havaitsivat kokeissa sotilaskärpäsen toukkamateriaalin lyhentävän puoliintumisaikaa kaikkien viiden tutkittavan aineen jäännöksessä, eikä toukissakaan pystytty havaitsemaan bioakkumulaatiota. Bioakkumulaatio tarkoittaa aineiden, erityisesti raskasmetallien ym. ympäristömyrkkyjen, kasaantumista eliöyksilön kudoksiin. Mustasotilaskärpäsen toukkamassan antibakteerisia ominaisuuksia ovat tutkineet mm. Zdybicka-Barabas ym. (2017) ja Vogel ym. (2018).

7. Rehuksi kasvatettavat hyönteislajit

Hyönteisten soveltuvuutta sikojen ja siipikarjan rehuihin ovat tarkastelleet esim. Nakagaki ym. 1997, Veldkamp ym. (2012) ja De Marco ym. (2015). Eviran (nykyisin Ruokavirasto) ohjeistuksen (Evira 2017b) mukaan elintarviketuotantoeläinten rehuksi voi kasvattaa seitsemää hyönteislajia: sotilaskärpänen (*Hermetia illucens*), huonekärpänen (*Musca domestica*), jauhopukki (*Tenebrio molitor*), kanatunkkari (*Alphitobius diaperinus*), kotisirkka (*Acheta domesticus*), trooppinen kotisirkka (*Gryllobes sigillatus*) ja kenttäsiirkka (*Gryllus assimilis*). Rehukäyttöön soveltuvat hyönteislajit voivat muuttua, kun hyönteisistä saadaan lisää tietoa, joten ajantasainen luettelo rehukäyttöön soveltuvista hyönteisistä kannattaa tarkastaa Ruokavirastosta.

Lemmikkieläinten ja turkiseläinten rehuna voi käyttää myös muita hyönteislajeja, kunhan ne eivät ole tauteja aiheuttavia, suojeltavia eikä haitallisiksi määritettyjä vieraslajeja. Hyönteisten käytölle lemmikki- ja turkiseläinten ruokinnassa ei ole esteitä, mutta käyttö elintarviketuotantoeläinten rehuna on rajoitettua. Eläviä hyönteisiä voi käyttää kaikkien eläinlajien ruokintaan märehitöitä lukuun ottamatta. Myös hyönteisistä saatua rasvaa voi käyttää kaikkien eläinlajien rehussa. Hyönteisistä saatua käsiteltyä eläinvalkuaista (PAP, processed animal protein) voi käyttää rehuna lemmikkieläimille sekä turkiseläimille ja 1.7.2017 alkaen vesiviljelyeläimille (Evira 2017b).

8. Hyönteiset elintarvikkeena

FAO:n tekemän raportin mukaan hyönteiset ovat ravitsemuksellisesti hyvälaatuista ravintoa (van Huis ym. 2013). Ravintoarvot tosin vaihtelevat suuresti riippuen hyönteislajista, kehitysvaiheesta, hyönteisten ravinnon koostumuksesta ja siitä, miten hyönteiset prosessoidaan ravinnoksi. Toukkien, nymfien ja aikuisten erilaiset elintavat, elinympäristö ja ravinto vaikuttavat siihen, että hyönteisten ravintoarvot ovat erilaisia eri kehitysvaiheissa. Hyönteisten ravintoarvoa voidaan muuttaa käyttämällä hyönteisten ruokinnassa erilaisia raaka-aineita (Davis ja Sosulski 1974, Anderson 2000, Finke 2002, Lehtovaara ym. 2017).

Van Huis ym. (2013) mukaan maapallon väestöstä yli kaksi miljardia ihmistä syö hyönteisiä osana päivittäistä ruokavaliota. Hyönteisiä käytetään ravintona pääasiassa maapallon trooppisella ja subtrooppisella vyöhykkeellä Afrikassa, Aasiassa ja Etelä-Amerikassa. Trooppisilla alueilla syötäviä hyönteislajeja löytyy ympäri vuoden ja ne kasvavat suuremmiksi. Ravinnoksi käytettävät hyönteiset kerätään pääosin luonnosta suoraan. Hyönteisiä pyydystetään silloin, kun ne liikkuvat suurissa parvissa, jolloin niitä on helpompi pyydystää (Huldén 2015, van Huis ym. 2013).

Wageningen yliopistossa vuonna 2012 tehdyn tutkimuksen mukaan syötäviä hyönteislajeja tunnetaan yli 1900 (van Huis ym. 2013). Eniten hyönteisistä syödään kovakuoriaisia (Coleoptera), noin 31 %. Perhosen toukkien (Lepidoptera, perhoset) osuus kaikista syötävistä hyönteisistä on noin 18 %. Mehiläisten, ampiaisten ja muurahaisten (Hymenoptera, pistiäiset) osuus on noin 14 %. Heinäsirkkojen ja sirkkojen (Orthoptera, suorasiipiset) osuus on noin 13 %. Kääpiökaskaiden, kannuskaskaiden, kaskaiden, kilpikirvojen ja muiden nivelkärsäisten osuus on (Hemiptera, nivelkärsäiset) noin 10 %. Termititien (Isoptera) osuus kaikista syötävistä hyönteisistä on 3 %, sudenkorentojen (Odonata) myös 3 %, kärpäsien (Diptera, kaksisiipiset) osuus 2 % ja muiden hyönteisten osuus on 5 %. Perhosia syödään toukka vaiheessa ja pistiäisiä syödään toukka- ja koteloaste vaiheissa. Kovakuoriaisia syödään sekä toukkana, että aikuisina. Heinäsirkkoja, sirkkoja ja kaskaita ja termiittejä syödään lähinnä vain aikuisena (Cerritos 2009, van Huis ym. 2013).

Suurin osa ihmisistä pitää hyönteisten makua miellyttävänä ja hyönteisravinto on myös terveellistä. Hyönteisruoka sisältää paljon ravintoaineita ja sen ravintosisältö on verrattavissa tavanomaisiin eläinproteiinin lähteisiin (van Huis ym. 2013). Hyönteisissä on paljon proteiinia 20–70 % (raakavalkuaispitoisuus), rasvoja (10–50 %, myös hyvälaatuisia omega-3- ja omega-6- rasvahappoja), kivennäisaineita, hivenaineita ja ihmisen terveydelle tärkeitä vitamiineja. Hyönteisruoka sisältää runsaasti fosforia, kaliumia, rautaa, kuparia, sinkkiä, mangaania, natriumia, B1 ja B2 vitamiinia ja niasiinia (B3 vitamiini) (Kouřimská ja Adámková 2016, Oonincx ym. 2015a, Payne ym. 2016, Ramos-Bueno ym. 2016, Rumpold ja Schlüter 2013b).

Myös hyönteisten proteiinin aminohappokoostumus on hyvälaatuinen (Rumpold ja Schlüter 2013b). Hyönteisproteiinissa rikkipitoisia aminohappoja (metioniinia ja kysteiiniä) on yleensä vähän. Lysiini- ja treoniinipitoisuudet ovat kuitenkin yleensä suhteellisen korkeita (Rumpold ja Schlüter 2013b). Näistä aminohapoista on usein puutetta kehitysmaissa vallitsevilla vehnä-, riisi-, maniokki- ja maissipohjaisissa ruokavalioiden (DeFoliart 1992).

Hyönteisravinnon rasvahappokoostumus on samantyyppinen kuin siipikarjalla ja kalalla (DeFoliart 1991). Hyönteisravinto sisältää paljon tyydyttämättömiä rasvahappoja. Jotkin hyönteislajit sisältävät paljon myös välttämättömiä rasvahappoja, linoli- ja /tai linoleenihappoa (Rumpold ja Schlüter 2013b).

8.1. Kotisirkkan ravintoarvo

Kotisirkkan proteiinipitoisuus on korkea, jopa 55–70 % kuiva-aineesta, riippuen kasvuvaiheesta ja sirkkojen saamasta ravinnosta (Rumpold ja Schlüter 2013a). Myös aminohappokoostumus on monipuolinen ja sisältää paljon välttämättömiä aminohappoja (Rumpold ja Schlüter 2013a). Sirkkojen proteiinipitoisuus on yhtä korkea kuin sianlihassa, naudanlihassa tai siipikarjalla (Payne ym. 2016). Kotisirkkojen rasvahappokoostumuksesta on monipuolisesti koottu tietoa DeFoliart (1991) artikkelissa. Monitydyttymättömien rasvahappojen osuus on kotisirkalla melko samanlainen kuin kalalla (DeFoliart 1991).

Kotisirkka sisältää monia vitamiineja ja hivenaineita. Esimerkiksi foolihappoa sirkat sisältävät 490 µg/100 grammaa (kuivapainoa) kohti (Rumpold ja Schlüter 2013a). Sirkat sisältävät myös C-vitamiinia 3 mg /100 g (Payne ym. 2016). Riboflaviinia (B2-vitamiinia) on sirkoissa huomattavasti enemmän kuin naudanlihassa (3,41 vs. 0,23 mg/100) (Payne ym. 2016). Sirkkojen kalsium pitoisuus on korkea verrattuna naudanlihaan (104 vs. 5 mg/100 g) ja rautapitoisuus on 3,46 mg/100 g, joka on paljon suurempi kuin naudanlihalla 1,95 mg/100 g (Payne ym. 2016).

8.2. Jauhomadon ravintoarvo

Monissa tutkimuksissa on todettu, että jauhomadot sisältävät enemmän proteiineja ja hyvälaatuisia omega-3- ja omega-6-rasvahappoja, kuin muut hyönteiset (Alves ym. 2016, Aguilar-Miranda ym. 2002, Oonincx ym. 2015a, Tzompa-Sosa ym. 2016). Erittäin hyvät ravintoarvot tekevät lajista houkuttelevan elintarvikekäyttöä ajatellen. Ramos-Elorduy ym. (2002) tutkimustulokset osoittavat, että jauhomatojen tuottama proteiini on muuten samantasoista kuin soijajauhossa, mutta metioniinia on niukasti.

Jauhomatojen rasvakoostumus pysyy melko samanlaisena, vaikka kasvualustan koostumus olisi erilainen. Jauhomadoissa on runsaasti oleiini-, linoliyhappo- ja palmitiinihappoja (Oonincx ym. 2015a). Tämä voi selittyä sillä, että jauhomadot pystyvät sisäsyntyisesti valmistamaan rasvahappoja kuten palmitiini- ja oleiinihappoja, joten niiden määrä pysyy lähes vakiona jauhomatojen kudoksissa ravinnosta riippumatta (Ribeiro 2017).

Bjørge ym. (2018) mukaan lämpötilalla vaikuttaa myös jauhomadon koostumukseen. Jauhomatojen rasvapitoisuus oli 47,4 % ja proteiinipitoisuus 37,9 % kasvatettaessa jauhomatoja 31,0 °C:ssa, mutta rasvapitoisuus laski ja proteiinipitoisuus nousi, kun lämpötila muuttui korkeammaksi tai matalammaksi kuin 31,0 °C.

Van Broekhoven ym. (2015) mukaan jauhomatojen proteiinipitoisuus ei vaihtelee, vaikka rehun raakaproteiinipitoisuus nostettaisiin 2–3-kertaiseksi. Ramos-Elorduy ym. (2002) kokeessa jauhomatojen proteiinipitoisuus oli kaksinkertainen ja kehon rasvapitoisuus viisi tai kuusi kertaa suurempi kuin jauhomatojen ravinnossa, jolloin raakakuitujen ja hiilihydraattien arvot laskivat merkittävästi. Rho ja Lee (2014) mukaan matalalla proteiini:hiilihydraatti-suhteella ruokitulla jauhomadoilla on suurempi lipidipitoisuus.

Vesilähteen vaikutukset jauhomatojen koostumukseen ovat ristiriitaisia. Urs ja Hopkins (1973) totesivat, että vesilähde lisää rasvojen kokonaispitoisuutta, kun taas Oonincx (2015a) totesi, että ravinnon täydentäminen vedenlähteellä lisää vesipitoisuutta, mutta ei rasvojen kokonaispitoisuutta. Näissä kummassakaan tutkimuksessa vedenlähteellä ei havaittu olevan vaikutusta jauhomatojen rasvahappokoostumukseen.

8.3. Mustasotilaskärpäsen toukan ravintoarvo

Mustasotilaskärpäsen toukat pystyvät syömään suuria määriä jätettä ja ne kasvavat nopeasti ja tuottavat tehokkaasti ravinteikasta ja korkealaatuista proteiinia sisältävää raaka-ainetta. Mustasotilaskärpäsen toukat ovat arvokas raaka-aine eläinten rehuissa (Newton ym. 1977, Sheppard ym. 1994), sillä ne sisältävät 35–57 % proteiinia (Liu ym. 2017, Caligiani ym. 2018). Sotilaskärpäsen toukat sisältävät laadukasta valkuaista, jonka on todettu tukevan broilerin normaalia kasvua (Moula ym. 2018, Schiavone ym. 2016). Toukkien lysiniipitoisuus on korkea (6–8 % raakavalkuaisesta), mutta metioniinia, kysteiniä ja treoniinia on vain vähän (Makkar ym. 2014). Makkar ym. (2014) mukaan toukkarehut ovat yhtä maittavia kuin soijarouhepohjaiset rehut. Ruokintakokeissa on saatu hyviä kasvatuloksia syöttämällä mustasotilaskärpäsen toukkia esim. siipikarjalle (Lee ym. 2018, Maurer ym. 2015, Moula ym. 2018, Kawasaki ym. 2019), sioille (Kortelainen ym. 2016, Newton ym. 1977) ja kaloille (St-Hilaire ym. 2007a, Bondari ja Sheppard 1981). Siipikarjalle ja monille kaloille hyönteiset ovat luonnollista ravintoa.

Caligiani ym. (2018) mukaan mustasotilaskärpäsen esikoteloissa on rasvaa 37 % (kuiva-aineessa). Rasvan määrä ja laatu on riippuvainen toukkien ravinnosta. Rasvan määrä toukissa tai esikoteloissa vaihtelee huomattavasti riippuen toukille annetusta rehusta. Ulkomaisissa tutkimuksissa on testattu mustasotilaskärpäsen kasvatusta myös lannalla ja jätteillä. Jos toukkien ravintomateriaalina on käytetty kanan lantaa, rasvan määrä on 35 % (Sheppard ym. 1994), sianlantaa käytettäessä rasvaa muodostuu 28 % (Newton ym. 2004). Naudan lantaa ravintomateriaalina käytettäessä rasvan osuus kohoaa 35 %:iin, ja jos toukan ravintomateriaalina on käytetty öljypitoista ruokajätettä, toukissa voi olla rasvaa jopa 42–49 % (St-Hilaire ym. 2007b). Kalojen perkausjätettä syötettäessä, toukkien rasvapitoisuus lisääntyy 30 % ja omega-3-rasvahappojen pitoisuus 3 %, vaikka kalojen perkausjätettä syötettiin vain viimeisen vuorokauden aikana (St-Hilaire ym. 2007b).

Mustasotilaskärpäsen täysikasvuiset toukat (esikotelot) jättävät ravintomateriaalin ja etsiytyvät kuivaan paikkaan, josta niitä voi helposti kerätä talteen. Toukista ja esikoteloista voidaan valmistaa rehua, öljyä, biodieseliä, proteiinijauhoa ja kitiiniä (Newton ym. 2005, Makkar ym. 2014, Li ym. 2015, Caligiani ym. 2018). Kuiva-aineen osuus mustasotilaskärpäsen esikotelossa on korkea, noin 43–44 %, joten kuivauskustannukset jäävät pienemmiksi kuin monissa muissa raaka-aineissa (Sheppard ym. 1994, Park 2016).

Toukkamassasta puristettua öljyä voidaan käyttää energian tai biopolttoaineiden tuotantoon (Li ym. 2011). Jäljelle jäävässä jätteessä on arvokkaita ravinteita ja sitä voidaan käyttää lannoitteena ja maanparannusaineena. Loppujätteen lannoitekäyttö edellyttää kuitenkin ”kypsytystä”, koska prosessointiaika on niin lyhyt. Ilman kypsytystä jätemateriaalin käyttö lannoitteena voi aiheuttaa hapen ehtymistä maaperässä, joka estää siementen itävyyttä tai vähentää juurten ja kasvien kasvua (Donahue 2017).

8.4. Kitiini

Kitiini on luonnossa runsaana esiintyvä hiilihydraattipolymeeri (Veldkamp ym. 2012). Hyönteisten ulkoinen tukiranka koostuu osittain kitiinistä, jota on hyönteisissä keskimäärin 10 % (kuiva-aineessa). Han (2018) tutkimuksissa kotisirkkan kitiinipitoisuus oli 4,6 % ja jauhomatojen kitiinipitoisuus 4,5 % (kuiva-aineessa). Caligiani ym. (2018) mukaan mustasotilaskärpäsen esikotelomassassa kitiiniä 9 % (kuiva-aineessa). Finke (2007) tutkimuksessa kitiinin määrä kaupallisesti kasvatetuissa hyönteisissä vaihteli välillä 11,6–137,2 mg/kg (kuiva-aineessa). Myös Bednářová ym. (2013) on tutkinut mm. kuitujen määrää 7 syötävissä hyönteislajeissa. Kitiiniä on myös alkueläinten, sienten, levien ja hiivojen soluseinämissä (Belluco ym. 2013).

Kitiini heikentää hyönteisravinnon sulavuutta (Ozimek ym. 1985). Kitiiniä pidetään ihmisellä sulamattomana kuituna, joten siinä ei ole energiaa (Collavo ym. 2005). Kitiiniä hajottavaa kitinaasi entsyymiä

on tosin todettu esiintyvän ihmiselläkin, ilmeisesti entsyymi on kuitenkin inaktiivinen (Paoletti ym. 2007). Kitinaasia eli kitiiniä hajottavaa entsyymiä on mm. kaloilla (Rehbein ym. 1986), matelijoilla, linnuilla (Weiser ym. 1997) sekä hyönteisiä ravintonaan käyttävillä eläimillä (Smith ym. 1998). Kitiinin poistaminen hyönteismassasta parantaa hyönteisproteiinin sulavuutta (Finke 2007). Kitiinin poiston on todettu parantavan mehiläisten sisältämän valkuaisaineiden sulavuutta 71,5 %:sta 94,3 %:iin (Ozimek ym. 1985).

Kitiini sisältää tyypeä, joten se päätyy rehuanalyysin typpianalyysin mukana osaksi valkuaispitoisuutta, jos sitä ei osata huomioida. Finken (2007) mukaan, perinteinen kuitujakeisiin (ADF, CF) perustuva kitiinipitoisuuden määrittäminen ei ole hyönteisille niin käyttökelpoinen kuin äyriäisille. Tämä sen vuoksi, että hyönteisten ja äyriäisten ulkokuori on erilainen. Hyönteisten ulkokuori (kutikula) on monimutkaisempi, koska se sisältää kitiinin lisäksi proteiineja, mineraaleja, rasvoja ja muita komponentteja (Finke 2007). Kitiinin sulavuutta siipikarjalla ja perinteisiä ja uudempia määrittämenetelmiä käsitellään monipuolisesti Bunkenbergsin (2015) tutkimuksessa.

Hyönteisistä voidaan myös erottaa kitiiniä myös omiksi tuotteiksi (Waško ym. 2016, Caligiani ym. 2018, Gortari ja Hours 2013). Kitiiniä kutsutaan tulevaisuuden polymeeriksi sen runsauden, sitkeyden ja biohajoavuuden vuoksi (Goodman 1989). Jos proteiinin erottelu hyönteistuotteista hyväksytään, sivutuotteena syntyy paljon kitiiniä ja sen arvo voi olla merkittävä (Goodman 1989).

Kitiiniä ja sen johdannaisia, erityisesti kitosaania, hyödynnetään lääkkeessä, maataloudessa ja teollisuudessa (Waško ym. 2016, Gortari ja Hours 2013). Kitiini ja sen kitiinijohdannainen kitosaani voivat parantaa joidenkin ihmisten immuunivastetta bakteereja ja viruksia vastaan. Kitiini voi auttaa elimistöä puolustautumaan loistauteja ja allergioita vastaan (Finke 2007). Joillakin ihmisillä kitiini voi vähentää allergisia reaktioita (Goodman 1989, Muzzarelli 2010). Goodmanin (1989) mukaan hyönteisten kitiini auttaa torjumaan syöpää. Kitiiniä on käytetty onnistuneesti myös haavojen hoidossa ja lipidien imeytymisen tutkimuksessa (Muzzarelli 1997). Kitosaanilla on todettu olevan vastustuskykyä lisääviä ja antimikrobisia ominaisuuksia (Kong ym. 2010).

9. Hyönteisten jalostus elintarvikkeeksi

Hyönteisten jalostus elintarvikkeeksi ja hyönteiselintarvikkeiden myynti on asetettu Suomessa ilmoitettavaksi elintarvikehuoneistotoiminnaksi*. Hyönteisten tuotanto ei kuitenkaan vaadi laitoshyväksyntää, vaikka kyseessä onkin eläimistä saatavien elintarvikkeiden valmistus, sillä hyönteisille ei ole säädetty erityisvaatimuksia asetuksen (EY) N:o 853/2004 liitteessä III (Evira 2018b).

Elintarvikehuoneistolla tarkoitetaan elintarvikelain (L 13.1.2006/23, 1. luku, 6§) mukaan ”mitä tahansa rakennusta tai huoneistoa tai niiden osaa taikka muuta ulko- tai sisätilaa, jossa myytäväksi tai muuten luovutettavaksi tarkoitettuja elintarvikkeita valmistetaan, säilytetään, kuljetetaan, pidetään kaupan, tarjoillaan tai muutoin käsitellään, ei kuitenkaan alkutuotantopaikkaa

Hyönteisten kohdalla alkutuotannoksi lasketaan myös hyönteisten lopetus, jos se tehdään jäädyttämällä tai pakastamalla hyönteiset. Hyönteisten jalostustoiminnaksi taas katsotaan hyönteisten keittäminen, paahtaminen, jauhaminen ja muu jalostus, koska se muuttaa olennaisesti alkutuotannon tuotteen luonnetta. Hyönteisten jalostustoiminnaksi katsotaan myös hyönteisten lopettaminen jollakin muulla tavalla kuin pakastamalla tai jäädyttämällä. Tällaisia tapoja voivat olla esimerkiksi keittäminen, höyryttäminen tai silppuaminen. (Evira 2018b.)

Tällä hetkellä elintarvikkeena tarjottavat hyönteiset tai niistä valmistettujen elintarvikkeiden tulee käyttää koko hyönteinen mitään osia niistä poistamatta. Kokonaisia hyönteisiä saa kuitenkin jauhaa, rouhia tai kuivata jalostuksen yhteydessä. Hyönteisistä ei saa myöskään eristää tai uuttaa esimerkiksi proteiini- tai rasvajakeita (Evira 2018b). Tässä luvussa käsitellään aluksi hyönteisten tämänhetkistä jalostusprosessia, sen eri osa-alueita ja vaikutuksia itse lopputuotteeseen. Lopuksi tehdään katsaus kirjallisuuteen, jonka avulla selvitetään mahdollisia tulevaisuuden sovellutuksia elintarvikealalla hyönteisfraktioiden käyttöön.

9.1. Hyönteisten lopettaminen

Tällä hetkellä iso osa Suomessa elintarvikkeeksi kasvatetuista hyönteisistä lopetetaan joko pakastamalla tai jäädyttämällä. Tämä on tulkittu olevan vielä alkutuotannon toimintaa, joten tässä luvussa ei asiaa käsitellä. Hyönteisiä on kuitenkin mahdollista lopettaa myös muilla tavoin.

Hollantilaisten hyönteiskasvattajien järjestön Venikin ja Wageningenin yliopiston opiskelijoiden tekemässä selvityksessä tarkasteltiin hyönteisten lopettamista ja käytössä olevia menetelmiä. Suosituimpia menetelmiä hyönteisten lopettamiseen Hollannissa olivat pakastuksen ja jäädyttämisen lisäksi, pakaskuivaaminen, tainnutus hiilidioksidilla, jonka jälkeen hyönteiset spreijataan kuumalla vedellä, ja murskaaminen. Raportin julkaisuaikaan yksi haastatelluista yrityksistä oli kokeillut lopettamista myös typpi- ja happipitoisuutta säättämällä (Erens ym. 2012).

9.2. Hyönteisten dekontaminointi ja säilyvyys elintarvikkeena

Yhtenä elintarvikkeeksi prosessoinnin tavoitteena on tuottaa elintarvikkeita, joissa on optimoitu lopputuotteelle halutut ominaisuudet, kuten säilyvyys ja tuotteen turvallisuus. Hyönteisten prosessointi elintarvikkeeksi saattaa joissain tuotantomalleissa vaatia erillisen dekontaminaatiovaiheen, jolla pyritään varmistamaan tuotteen säilyvyys. Dekontaminaatio voidaan toteuttaa muun muassa lämpökäsittelyllä hyönteinen esimerkiksi kuumentamalla, keittämällä, kaltaamalla, pastöroinnilla tai steriloidulla raaka-aine. Ilman lämpökäsittelyä hyönteiset on mahdollista dekontaminoida muun muassa säteilyttämällä tai elektronisuihkulla. Säilyvyyttä pystytään lisäksi parantamaan, joko säilyttämällä

tuotteet joko kylmiössä tai pakastamalla. Hyönteiset voidaan säilyvyyden parantamiseksi käsitellä myös suolaamalla, pikkelöimällä tai savustamalla. (Rumpold ym. 2017.)

Hyönteiset sisältävät ja voivat levittää patogeenisia ja ei patogeenisia mikro-organismeja, jotka voivat aiheuttaa ruuan pilaantumisen tai levittää zoonooseja (Rumpold ym. 2017). Hyönteiselintarvikkeiden säilyvyyttä on tutkittu kohtalaisen vähän, mutta esim. Klunder ym. (2012) toteavat, että kärsittelemällä hyönteiset keittämällä, on mahdollista huomattavasti vähentää enterobakteerien ja itiöllisten bakteerien kehittymistä lopputuotteessa. Alla olevasta taulukosta havaitaan, että enterobakteerien ja itiöllisten bakteerien kehittymistä kotisirkkoilla voidaan ehkäistä keittämällä niitä 5 minuuttia. Toinen hyöty keittämiskäsittelystä kotisirkkojen kohdalla on se, että keittäminen estää kotisirkkojen entsyymaattisen pilaantumisen, joka ilmenee kotisirkkojen tummumisena (Klunder ym. 2012). Jauhomadoilla tehdyssä tutkimuksessa (Stoops ym. 2016), löydökset olivat hyvin samansuuntaisia kuin Klunderin ym. (2012) tutkimuksessa.

Klunderin ym. (2012) ja Stoopsin ym. (2016) tutkimuksessa komission jauhelihalle asettamat raja-arvot ylittyivät jo tuoreissa hyönteisissä. Molemmat ehdottavat tuloksissaan, että dekontaminaatiovaihe on elintarvikkeeksi prosessoinnin kannalta välttämätön. Rumpold ym. (2014) totesivat omassa tutkimuksessaan, että parhaimpaan dekontaminaatitulokseen jauhomadoilla päästiin käsittelemällä ne joko 90 °C vesikylvyssä tai 600 mPAn hydrostaattisessa paineessa. Tutkimuksessa vertailtiin dekontaminointia suoralla lämmöllä, vesikylvyllä, hydrostaattisella paineella ja suoralla ja epäsuoralla plasmakäsittelyllä. Toisaalta, Caparros ym. (2017) ehdottavat, koska Klunderin ym. (2012) ja Vandeweyer ym. (2017) tutkimuksissa ei ole onnistuttu vähentämään itiöllisten bakteerien määrää ja bakteerien itiöitä millään menetelmällä, että hyönteisten prosessointiin elintarvikkeeksi tulisi lisätä sterilointivaihe, jolla pystyttäisiin vähentämään tai välttämään hyönteisten mikrobiologisia riskejä. Vaihtoehtoisesti hyönteisten säilyvyysaikaa ja säilytyslämpötilaa tulisi rajoittaa. Edellä mainituista syistä elintarvikehyönteisten mikrobiologista laatua tulee tutkia lisää ja kehittää menetelmiä, joilla hyönteisten turvallisuus kuluttajille voidaan taata.

Tällä hetkellä, vähentääkseen elintarviketurvallisuuteen liittyviä riskejä, Evira on ottanut käytännön, jonka mukaan hyönteiset on valmistuksen jossain vaiheessa kuumennettava vähintään 75 °C lämpötilaan. Vastuu kuumennuksesta voidaan Suomessa toteuttaa myös pakkausmerkinnällä, jos hyönteiset on tarkoitus myydä pakasteena (Ruokavirasto 2019). Tällöin pakkauksessa on oltava merkintä: ”kuumennettava hyönteiset kauttaaltaan vähintään 75 °C ennen niiden nauttimista.”

9.3. Hyönteisten kuivaaminen

Huomattava osa Suomessa markkinoille saatetuista hyönteiselintarvikkeista on toteutettu käyttämällä kuivattuja hyönteisiä. Lämmöllä kuivaamisen prosessi sisältää kolme alaproessia, jotka ovat; 1) Lämmön siirto ympäristöstä kuivattavaan tuotteeseen, 2) Liuotettavan nesteen olomuodon muutos ja 3) Liuotetun höyryn poistaminen (Rumpold ym. 2017). Olemassa olevia kuivaamisprosesseja on olemassa useita, kuten ilmakeuivaus, pakkaskuivaus, kuivaaminen mikroaalloilla tai spraykuivaus. Kuivausmenetelmän valintaan vaikuttaa kuivattavan raaka-aineen ominaisuudet, halutun lopputuloksen ominaisuudet ja kuivausmenetelmän ja -laitteiston ominaisuudet (ibid).

Hyönteisten sisältämän kosteuden määrään vaikuttaa muun muassa kasvatettava laji ja hyönteisten kehitysvaihe lopettamispisteessä. Finke (2013) esitteli tutkimuksessaan neljän eri hyönteislajin ravintosisältöä. Määritetyt kosteusarvot hyönteisille olivat seuraavat: sirkat 725 g/kg, jauhomadot 689 g/kg jättijauhomadot 630g/kg ja vahakoin toukissa 641 g/kg. Rumpold ym. (2017) ehdottavat, että varmistakseen turvallisen ja varastoinnin kestävän tuotteen kosteusprosentin ei tulisi ylittää 10 prosenttia.

Pelkän kosteusprosentin seuraaminen kuivatuille hyönteiselintarvikkeille ei kuitenkaan ole riittävää. Hyönteisten kuivauksen onnistumiseen vaikuttaa myös kuivattujen hyönteisten sisältämä veden aktiivisuus. Esimerkiksi Vandeweyer ym. (2017) kuivasivat jauhomatoja mikroaalloilla. Tutkimuksessa kosteusprosentti laski 10,52 prosenttiin, mutta veden aktiivisuus pysyi 0,67 tasolla. Stabiilin elintarvikkeen raja-arvona pidetään 0,6, jolloin vain jotkut homeet pystyvät vielä lisääntymään. Helposti pilaantuvien elintarvikkeiden ja tuoreena myytävien elintarvikkeiden veden aktiivisuus on yleensä yli 0,90 (Sojakka ja Välimäki 2011).

Hyönteiset sisältävät myös muita aineita, jotka saattavat pilaantua, vaikka hyönteiset olisivatkin kuivattuja. Tällaisia asioita voivat olla muun muassa kotisirkkojen entsyymaattinen tummuminen (Klunder ym. 2012), joka mainittiin edellisessä kappaleessa tai jauhomadoilla esiintynyt rasvojen hapettuminen (Kouřimská ja Adámková 2016).

9.4. Hyönteisten jauhaminen

Hyönteisten jauhamisessa on tällä hetkellä käytössä useita eri välineitä. Kansainvälisesti käytössä on monenlaisia tekniikoita. Esimerkiksi Yhdysvalloissa toimiva yritys suosittaa mallistostaan hyönteistuotajalle lautasmyllyä (Pleasant Hill Grain, 2018). Rumpold ym. (2017) mainitsevat jauhamisprosessin, jossa kotisirkat jauhetaan kahteen kertaan. Ensimmäisessä vaiheessa kotisirkat jauhetaan karkearakeiseksi jauhoksi, jonka jälkeen jauhosta sihdataan siivet ja jalat pois. Toisessa vaiheessa jäljelle jäänyt karkearakeinen jauho jauhetaan hienokiteiseksi jauheeksi. Suomen nykyisen tulkinnan mukaan hyönteiselintarvikkeessa on käytettävä koko hyönteinen, mitään osia siitä poistamatta (Ruokavirasto 2019). Edellä kuvatun kaltainen prosessi ei siis ainakaan toistaiseksi ole Suomessa mahdollinen. Hyönteisten jauhamisen haasteena voidaan pitää niiden sisältämää rasvaa, jalkoja ja siipiä. Rasva saattaa vaikeuttaa jauhamisessa käytetyn myllyn puhdistettavuutta. Rasva saattaa myös hapettua jauhettaessa, jos jauhamista ei onnistuta tekemään riittävän nopeasti tai soveltuvassa lämpötilassa. Jalat ja siivet taas jauhaantuvat huonosti, koska ne ovat jo lähtökohtaisesti hyvin pieniä partikkeleita.

ENTOLAB-hankkeessa kokeiltiin kuivattujen kotisirkkojen jauhamista laboratoriossa (kuva 9). Hankkeen testissä käytettiin Robo Coupe R5 –kutteria, jossa vaihdettavan terän lisäksi kaksi mahdollisuutta terän nopeuden säätöön 1500 rpm ja 3000 rpm. Hyönteisiä jauhettiin aluksi suoralaisella terällä, minkä tuloksena lopullisessa jauheessa oli silmin havaittavissa jäämiä jaloista, jotka eivät olleet käsittelyssä jauhaantuneet. Toisessa testissä kutteriin vaihdettiin sahalainen terä, jonka avulla jauheesta saatiin silmämääräisesti huomattavasti tasaisempaa. Tämä todettiin myös lopputuotteiden aistinvaraisella arvioinnilla. Sirkkoja jauhettiin kaksi minuuttia. Ensimmäinen minuutti jauhettiin teholla 3000 rpm ja toinen minuutti teholla 1500 rpm. Käsittelyn aikana hyönteisten lämpötila kasvoi 19,9 °C:sta 23 °C:seen.

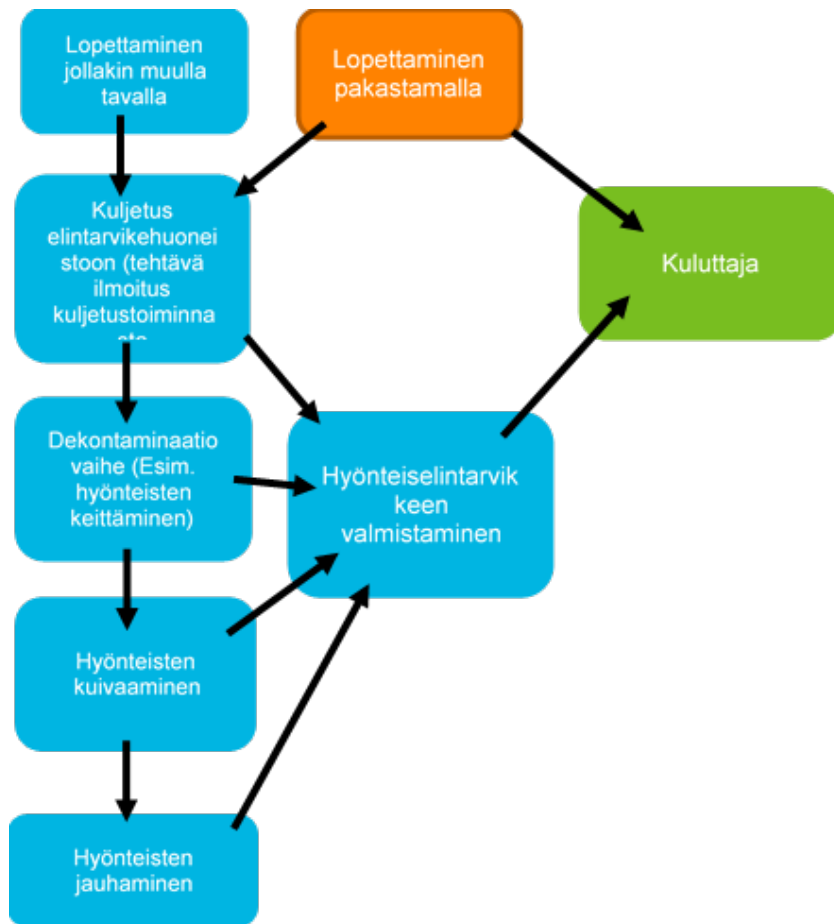


Kuva 9. Kutterilla tehty kotisirkkajauho.

9.5. Hyönteisten polku elintarvikkeena kuluttajalle

Hyönteisten jalostaminen elintarvikkeeksi sisältää erilaisia vaiheita, joita on käsitelty edellisissä kappaleissa. Yhteenvetona voidaan todeta, että nykyisen tiedon ja lainsäädännön tulkinnan perusteella hyönteisten elintarvikkeeksi prosessointi voi sisältää moniakin vaiheita tai olla hyvinkin yksinkertainen riippuen hyönteiselintarvikkeen tavoitellusta jalostusasteesta ja tavoitteena olevasta lopputuotteesta.

Kuvassa 10 hyönteisten polkua kuluttajalle pyritään selkiyttämään ja erottelemaan hyönteistalouden eri vaiheita ja vastuita. Kuvassa 10 oranssilla merkitty lasketaan Suomessa vielä alkutuotannon toiminnaksi. Alkutuottaja voi myydä hyönteisiä suoraan kuluttajalle, kunhan toiminta on pienimuotoista ja ei ylitä 10 000 euron rajaa (Evira 2018b). Lopetuksen jälkeinen kuljetus alkutuotantopaikalta ensimmäiseen elintarvikehuoneistoon on jo ilmoituksen varaista kuljetustoimintaa, josta on tehtävä ilmoitus kunnan elintarvikeviranomaiselle. Kuvassa elintarvikehuoneistoilmoituksen tai ilmoituksen elintarvikekuljetuksesta vaativat toiminnot on merkitty vaaleansinisellä. Kuten kuvasta käy ilmi, hyönteiselintarvikkeita voidaan ryhtyä valmistamaan prosessin monessa eri kohdassa. Jos hyönteiselintarvike valmistetaan ilman dekontaminaatiovaihetta, joka voi olla yhteinen kuivausprosessin kanssa, elintarvikepakkauksesta on käytävä ilmi Eviran antama ohjeistus tuotteen kuumentamisesta. Hyönteisten dekontaminaatio- ja kuivausvaiheen jälkeen, hyönteiset ovat usein vielä kokonaisia, mutta hyödynnettävissä ja käytettävissä elintarvikkeeksi sellaisenaan esimerkiksi erilaisissa mysleissä tai leivissä. Jauhettuja hyönteisiä taas pystytään hyväksikäyttämään esimerkiksi erilaisissa elintarvikevalmisteissa, kuten kasviproteiineja ja sirkkajauhoa sisältävässä valmisteessa, jota markkinoidaan jauhelihan korvaajana.



Kuva 10. Hyönteisten polku elintarvikkeena kuluttajalle.

9.6. Valmistuksen tulevaisuus

Tällä hetkellä elintarvikkeisiin saa lisätä vain kokonaisia hyönteisiä. Hyönteisten elintarvikekäytön mahdollisuuksia kuitenkin tutkitaan tällä hetkellä paljon. Yhtenä mahdollisena suuntana pidetään hyönteisten fraktiointia, jonka avulla hyönteisistä pystyttäisiin erottamaan hyönteisten sisältämä proteiini, rasvat ja kitiini. Hyönteisten fraktiointia on tutkinut muun muassa Teknologian tutkimuskeskus VTT (2017), jonka kuivafraktiointiin perustuvalla menetelmällä hyönteisistä pystytään erottamaan hyönteisistä rasva ja tuottamaan proteiinipitoistajauhetta, joka sisältää jopa 65–80 % raakavalkuaista. Elintarvikekäyttöön soveltuvaa kitosaania on onnistuttu eristämään muun muassa kovakuoriaisesta (Liu ym. 2012).

Proteiinijakeita on mahdollista käyttää sellaisenaan lisäämään elintarvikkeiden proteiinipitoisuutta (VTT 2017). Toisaalta, hyönteisten sisältämää proteiinia voidaan myös käyttää elintarviketuotteiden stabiloimiseen, sakeuttamiseen tai hyytelöimiseen. Edellä mainittuja hyönteisproteiinin ominaisuuksia on tutkinut muun muassa Yi ym. (2013) ja Mariod ym. (2011). Mariod ym. (2011) tutkivat hyönteisgelatiinin ominaisuuksia jäätelön valmistuksessa. Heidän aistinvaraisen arvioinnin paneelinsa totesi hyönteisgelatiinia sisältävän jäätelön hyväksyttäväksi. Hyönteisgelatiinilla valmistetun jäätelön ominaisuuksissa ei havaittu olevan merkittäviä eroja verrattuna kaupallisella gelatiinilla valmistettuun jäätelöön. Mahdollisia elintarvikkeita, joissa hyönteisproteiinin edellä mainittuja ominaisuuksia voidaan hyödyntää, on useita.

Hyönteisten rasvan on todettu sisältävän paljon tyydyttymättömiä ja monitydyttymättömiä rasvahappoja ja lisäksi niiden rasvahappokoostumus on verrattavissa erilaisiin kasvipärisiin öljyihin, kuten

esimerkiksi oliivi- tai rypsiöljyyn (Berezina 2017). Kokeessa, jossa hyönteisistä saadulla rasvalla paistettiin perunoita, todettiin, että hyönteisrasvan pitkäaikainen käyttö aiheutti perunoihin epämiellyttäviä aistihavaintoja (Mariod ym. 2006). Hyönteisrasvojen laatuun vaikuttaa rasvojen erottamiseen käytetty prosessi (Tzompa-Soza ym. 2014). Rasvan erottamiseen käytetty prosessi vaikuttaa myös jäljelle jääneisiin fraktioihin ja niiden ominaisuuksiin (Bußler ym. 2016). Esimerkkejä hyönteisistä saatujen rasvojen soveltuvuutta elintarvikkeisiin ei vielä ole ollut saatavilla, mutta rasvan profiilin perusteella hyönteisrasvaa voisi käyttää esimerkiksi korvaamaan epäterveellisempiä rasvoja elintarvikkeissa. Elintarvikealan ulkopuolella hyönteisrasvan on ehdotettu kelpaavaan muun muassa biodieselin ja kosmetiikkatuotteiden valmistukseen (Berezina 2017).

Hyönteisten tukirangassa, jaloissa ja siivissä sijaitsevan kitiinin ja siitä valmistettavaa kitosaania pidetään yhtenä lupaavana fraktionana. Kitiini voidaan erottaa hyönteisistä joko biologisesti tai kemiallisesti (Rumpold ym. 2017). Kemiallisen erotuksen jälkeen hyönteisissä oleva proteiinin on todettu olevan kelvotonta hyödyntämiseen. Biologisen kitiinin erottamisprosessin jälkeen hyönteisproteiini on edelleen hyödynnettävissä. Biologista erotusprosessia ei toistaiseksi ole tehty muuta kuin laboratorio-olosuhteissa. (Rumpold ym. 2017). Elintarvikkeena hyödynnettävissä olevaa kitosaania on onnistunut valmistamaan huonekärpäsistä (Zhang ym. 2011). Hyönteisistä saatavan kitiinin laadun on todettu vaihtelevan riippuen hyönteislajista, hyönteisen osasta, hyönteisen sukupuolesta ja kehitysvaiheesta (Rumpold ym. 2017, Kaya ym. 2016). Hyönteisistä saatavalla kitiinillä on paljon jo olemassa olevia hyödyntämismahdollisuuksia elintarvikealalla. Kitiiniä on käytetty muun muassa hedelmien säilyvyyden parantamiseen ja juomateollisuuden tuottamien juomien kirkastamiseen. Lihateollisuuden on mahdollista parantaa esimerkiksi einesruokien säilyvyyttä päällystämällä lihat kitosaanipohjaisella kalvolla (Kanatt ym. 2008, 2013). Muilla aloilla kitiiniä on muun muassa lisätty sideharsoihin, sen verta hyydyttävän vaikutuksen vuoksi.

10. Hyönteisten kuluttajamarkkinat ja käyttö keittiössä

10.1. Suomalaisten suhtautuminen hyönteisruokaan

Ruoan turvallisuus, oma terveys, ympäristönäkökulma, eläinten hyvinvointi (ja tuotteen hinta) vaikuttavat siihen, miten ihminen suhtautuu eläinperäiseen ruokaan (Clark ym. 2019). Tutkimusten mukaan suomalaiset suhtautuvat melko myönteisesti hyönteisruokaan. Noin 70 % suomalaisista kokee hyönteisruoan kiinnostavana ja noin puolet olisi valmis ostamaan hyönteisruokaa. Pihan ym. (2018) tarkastelemista kuudesta eri hyönteisruokavaihtoehdosta miellyttävimmäksi kuluttajat kokivat sirkka-ruislastut. Muita testattuja hyönteisruokia olivat muurahais-mustikkarouho, friteeratut sirkat dippikastikkeella, chilimaustettu hyönteisrouhe, kana-jauhomatonuggetit sekä wokkisekoitus jauhomadoista ja kasviksista, joka koettiin vähiten miellyttäväksi kyselyn vastaajajoukossa. Hyönteismarkkinoiden ollessa kehityskaarensa alkuvaiheessa suolaiset palat, leipätuotteet ja snack-tuotteet ovat varteenotettavimpien tuotteiden joukossa. Myös Vartiainen (2017) mukaan suomalaiset suhtautuvat erilaisiin hyönteisiin sisältäviin ruokiin myönteisesti. Myönteisimmin ruokaan, jossa hyönteiset ovat jauhettuna ja hyönteisten koetaan sopivan paremmin suolaiseen tai mausteiseen kuin makealta maistuvaan ruokaan. Kuvassa 11 on esimerkkejä syksyllä 2018 markkinoilla olleista suomalaisia hyönteistuotteista.

Kuluttajien ostohalukkuuteen vaikuttavat objektiivinen ja subjektiivinen tieto, jota kuluttajilla on hyönteisruoasta. Tieto vaikuttaa myös asenteisiin hyönteisruokaa kohtaan. Niin ikään hyönteisruoan ostohalukkuuteen vaikuttavat kokemukset hyönteistuotteista ja ruokaan liittyvät pelot (Piha ym. 2018). Viestintä ja se, millaisia mielikuvia hyönteistuotteisiin liitetään vaikuttaa omalta osaltaan hyönteistuotteisiin suhtautumiseen. Esimerkiksi viitteellinen hyönteisen kuva herättää vähemmän inhoa kuin yksityiskohtainen realistinen hyönteinen (Kauppi 2016)

Tieto ja kokemukset yleensä lisäävät ostohalukkuutta. Hyönteisruoan maistamisella on taipumus lisätä myönteistä asennetta ja hyönteisruoan kulutusaikomuksia (Menozzi ym. 2016). Kokemukset ovat tärkeitä myös sen vuoksi, että maku- ja maistamiskokemukset vaikuttavat siihen, millaisena kuluttaja kokee hänelle tutun ruoan. Sen sijaan ruoan ulkonäkö ja valmistusmenetelmä vaikuttavat osaltaan siihen, miten kuluttaja arvioi hänelle entuudestaan outoa ruokaa (Tan ym. 2015).

Ruokaan liittyvät pelot vähentävät ostohalukkuutta. Voidaan myös ajatella, että hyönteisruoan kuluttamiseen liittyy itsensä ylittäminen ja kokemusten hakeminen, sillä uuden ja jossain määrin epäilyttävältäkin tuntuvan hyönteisruoan nauttiminen voi antaa kuluttajille erilaisia tuntemuksia.

Hyönteisruoka on uuden tyyppinen ruoka, jonka kulutukseen tai kuluttamatta jättämiseen vaikuttavat sosiaaliset ja kulttuuriset syyt, mukaan lukien hyönteissyönnin imago kuluttajan viiteryhmässä (Hartman ym. 2018, Tan ym. 2015, 2017). Hyönteisruoan kuluttamista perustellaan etenkin ympäristösyillä, proteiinin tarpeen tyydyttämisellä, terveyssyillä, uskalluksella ja kokeilunhalulla (Hartman ym. 2018, Vartiainen 2017, Menozzi ym. 2016). Kokeilunhalulla ja asenteilla on merkitystä etenkin ensimmäisellä syömiskerralla (Menozzi ym. 2016) ja todennäköisimpiä kokeilijoita ovat nuorehkot miehet (Verbeke 2015). Laajamittainen hyönteisruoan kulutus kuitenkin edellyttäisi sen käyttöä päivittäisessä ruoanlaitossa ja erilaisissa ruoissa. Hyönteisruoan kokeiluun johtavat tekijät ja syyt ovat erilaisia kuin sen käytön jatkamiseen liittyvät tekijät ja syyt. Käytön jatkamiseen vaikuttavat mm. hyönteisruoan hinta, saatavuus, maku ja sopivuus vakiintuneisiin ruokailutapoihin (House 2016, Tan ym. 2015). Hyönteisruoan tuotteistuksessa tulisikin pyrkiä kokonaisuuksiin, jotka tarjoavat kuluttajille heidän haluamiaan ominaisuuksia, kuten ravitsemuksellista arvoa, hyvää makua, miellyttävää suutuntumaa, sopivia käyttötapoja ja ohjeita, sekä kulttuuriin, elämäntilanteeseen ja sosiaaliseen ympäristöön sopivia tuotteita.



Kuva 11. Esimerkkejä Suomessa syksyllä 2018 myytävänä olleista hyönteiselintarvikkeista.

10.2. Hyönteisten ravintosisältö

Hyönteiset ovat raaka-aineena uusi myös ammatti- ja kotikeittiössä. Yksi tärkeimmistä uuden raaka-aineen menestymiseen vaikuttavista tekijöistä on sitä ostavien kuluttajien ja ruokaa valmistavien yritysten taito valmistaa siitä maistavaa ruokaa. Helpottaaksemme ammattikeittiöiden ja kotikokkien työtaakkaa hankkeen aikana on kokeiltu erilaisia vaihtoehtoja hyönteisruuan valmistamiseen. Ensiksi on kuitenkin hyvä hallita perusteet hyönteisten oikeaoppisesta säilytyksestä, hyönteisten ravitsemuksellisista arvoista ja makuominaisuuksista.

Hyönteiset voivat tulla kotikeittiöön monessa eri muodossa. Osa markkinoille saatetuista tuotteista säilyy huoneenlämmössä ja osa taas on säilytettävä joko jääkaapissa tai pakasteena. Hyönteistuotteiden säilyvyyteen vaikuttaa paljon tuotteen valmistuksessa käytetty prosessi, joten yhtä oikeaa säilytysohjetta on mahdotonta antaa. Jos hyönteiset on kuivattu tai säilötty muulla tavalla, kuten pikke-löimällä, hyönteisten tulisi säilyä ainakin jonkin aikaa myös huoneenlämmössä. Tuoreena tai suoraan

tuottajalta ostetut hyönteiset tulisi säilyttää jääkaapissa, jos säilytysaika ei ole kovin pitkä ja pakastamisessa, jos säilytysaika on pidempi.

Hyönteisten ravitsemuksellisten ominaisuuksien vaihtelu ei johdu vain lajikohtaisista eroista. Hyönteisten ravitsemuksellisiin ominaisuuksiin vaikuttaa niille syötetty rehu, kasvu-aika, kasvuolosuhteet ja niihin kohdistetut prosessointimenetelmät (Hyönteistalous 2014). Toistaiseksi kattavimman artikkelin hyönteisten ravitsemuksellista ominaisuuksista on kirjoittanut Rumpold ja Schlüter (2013b). Elintarvikkehyönteisten ravitsemukselliset ominaisuudet on koottu taulukkoon 8. Taulukon 8 ravitsemukselliset arvot on mitattu kuivasta materiaalista, joten tuoreissa hyönteisissä on niihin sisältyvän kosteuden vuoksi vähemmän ravintoaineita. Hyönteiset sisältävät hyvin myös ihmiselle välttämättömiä aminohappoja ja mineraaleja (ibid.).

Taulukko 8. Hyönteisten ravintosisältö (yhteenveto Rumpoldin ja Schlüterin (2013) taulukkoarvoista).

	Proteiini	Rasva	Kuitu	NFE*	Tuhka	Energia (kcal/100 g)
Torakat	57,3	29,9	5,3	4,5	2,9	
Kovakuoriaiset (mm.kertut)	40,7	30,4	10,7	13,2	5,1	490,3
Jauhomato (toukka)	48,3	39,1	8,5	4,8	9,6	557,1
Kärpäset	49,5	22,8	13,6	6,0	10,3	409,8
Hemiptera (true bugs)	48,3	30,3	12,4	6,1	5,0	479,0
Muurahaiset, mehiläiset	46,5	25,1	5,7	20,3	3,5	484,5
Termitit	35,3	32,7	5,1	22,8	5,9	
Perhoset	45,4	27,7	6,6	18,8	4,5	508,9
Sirkat	61,3	13,4	9,6	13,0	3,9	426,3
Kotisirkka (nuori)	55,0	9,8	16,4		9,1	
Kotisirkka (aikuinen)	57,2	21,1	19,2	2,6	4,6	455,2

*NFE=nitrogen-free extract.

Hyönteisten makuprofiili ja muut makuun vaikuttavat ominaisuudet, kuten rapeus, ovat hyvin riippuvaisia syötävästä lajista, kasvuolosuhteista, prosessoinnista ja tarjotusta rehusta. Hyönteisten flavori johtuu pääosin hyönteisten pinnalla olevista feromoneista. Tästä syystä syötävien hyönteisten, jotka on prosessointivaiheessa kaltattu, maku on hyvin mieto (Kouřimská ja Adámková 2016). Hyönteisten jatkokäsittelyllä, kuten kuivaamisella on mahdollista vahvistaa hyönteisten pähkinäistä aromia. Hyönteiset myös reagoivat hyvin mausteisiin, joten maustamalla hyönteiset on mahdollista saada halutun makuisia hyönteisiä (ibid). Taulukkoon 9 on koottu listaus kolmen hyönteisen tunnetuista makuominaisuuksista (Kairenius 2018).

Taulukko 9. Kolmen syötäväksi kelpaavan hyönteislajin makuominaisuudet (Kairenius 2018)

Hyönteinen	Maku	Rapeus	Väri
<i>Acheta domesticus</i> (kotisirkka)	Maku on pähkinäinen, sienimäinen ja jopa äyriäismäinen.	Lajikkeen hyönteiset ovat aikuisena hyvinkin rapeita, johtuu kovasta tukirangasta	Kuivattuna väri on tumma. Tuoreena hyönteiset ovat vaaleampia
<i>Tenebrio molitor</i> (jauhopukki, toukka)	Maussa havaittavissa pähkinää ja popkornia. Maku on miedompi kuin listauksen muissa hyönteisissä.	Kuivattuna hyönteiset ovat rapeita. Tuoreina hyönteisten kuori on pehmeämpi.	Väri on vaalean ruskea, taittuu vähän oranssiin. Toukat ovat kuitenkin alttiita tummumiselle.
<i>Apis mellifera</i> (mehiläinen, kuh-nuritoukka)	Maussa havaittavissa maissia ja hunajaa. Maku on makeampi kuin listauksen muissa hyönteisissä.	Kuivattuna toukat ovat rapeita. Tuoreina pehmeitä.	Väri vaalean kellertävä, ruskeaan taittuva.

10.3. Hyönteiset ruoanlaitossa

Syötäviä hyönteisiä ehdotetaan yleensä lisäämään ruokiin sellaisenaan joko kokonaisena tai jauhetuna. Hyönteisistä valmistettavia ruokia tulisi kuitenkin myös arvioimalla hyönteisten lisäämisen hyödyllisyyttä valmistettavaan ruokaan. Toisin sanoen, hyönteisten lisäämisellä ruokaan tulisi olla jokin funktio halutussa ruoassa. Hyönteisten funktio ruoassa voi olla ravitsemuksellinen, jokin haluttu makuominaisuus, muutos annoksen värissä, tuoksussa tai rakenteessa. Hankkeessa tätä lähestymistapaa noudattamalla onnistuttiin kehittämään muutamia hyönteispohjaisia reseptejä. Alle on koottu kaksi reseptiä esimerkiksi.

10.3.1. Kotisirkkaleipä ja ravitsemusväitteen toteutuminen

Sirkkoja on ehdotettu käytettäväksi muun muassa leivonnassa (mm. Kairenius 2018). Lisäksi markkinoille on tuotu ainakin kahta erityyppistä leipää Fazerin toimesta. Kotisirkkojen lisääminen vehnä-jauhopohjaiseen leipätaikinaan kuitenkin vähentää leivän leivottavuutta. Leivottavuuden heikkeneminen saattaa näkyä muun muassa leivän helposti murenevana koostumuksena tai pinnan rikkoutumisena paistettaessa. Tämä rajoittaa kotisirkkojen määrää leipätaikinassa. Ammattileipurit voivat korjata ongelmaa lisäämällä taikinaan jauhонparanteita, kuten askorbiinihappoa tai mallasentsyymiä. Kotikeittiössä tämä ei useinkaan ole mahdollista, joten hankkeen puitteissa leivontaa kokeiltiin käyttämällä gluteenittomasta leivonnasta tuttuja menetelmiä. Kotisirkkajauheen avulla leipä saatiin tummemmaksi (kuva 12) ja leipään saatiin lisättyä pähkinäinen aromi. Kehitetty sirkkaleipä täytti myös ravitsemusväittämän ”proteiinin lähde” sisältämällä yli 12 % proteiinia tuotteen energia sisällöstä. Tuotteeseen lisättiin myös puolukkaa ja porkkanaa tuomaan makua ja parantamaan tuotteen ravitsemuksellisia ominaisuuksia. Taikinanvalmistuksessa käytettiin hydrokolloidina kaupoissa hyvin saatavilla olevaa Psylliumia. Psyllium sitoi taikinan toivotusti, joka myös todettiin 15 hengelle toteutetussa aistinvaraisessa arvioinnissa.



Kuva 12. Sirkkajauhoja sisältävän leivän ja sirkattoman leivän väriero (kuva: Autio ja Niskala 2018)

10.3.2. Sirkoista tehty liemi maun parantajana

Hyönteisten elintarvikekäyttöä tutkineen Nordic Food Labin mukaan kotisirkoista on mahdollista valmistaa liemiä (Nordic food lab 2014). Heidän lopullinen reseptinsä edellyttää pääosin ammattikeittiöistä löytyviä välineitä, joita ei ole useimmissa kotikeittiöissä. Sirkkaliemi on kuitenkin kohtalaisen helppo valmistaa ilman ammattikeittiöiden välineitä taulukon 10 mukaisista raaka-aineista. Lopullisen

liemen määrä riippuu liemen keittoajasta. Tunnin keittämisen jälkeen lientä saa noin 2 – 2,5 dl. Hyönteislientä voi käyttää esimerkiksi risoton valmistuksessa tai lihaliemen tapaan erilaisissa kastikkeissa. Hyönteisistä valmistettu liemi on väriltään tummaa ja siinä on havaittavissa selkeä sienimäinen ja pähkinäinen aromi. Liemestä ei maun perusteella pysty tunnistamaan, että se on valmistettu kotisirkoista. Liemi saattaa tästä syystä tarjota helpon ensiaskelen hyönteisten syöntiin.

Taulukko 10. Sirkkaliemen valmistusohje.

Määrä	Raaka-aine	Toimintaohje
1 l	Vesi	Paahda juurekset ja lisää kattilaan vesi
1	Porkkana	Lisää vesi, yrtit ja mausteet (jos haluat)
1	Selleri	Lisää sirkkajauhe
½	Sipuli	Anna kiehua hiljalleen vähintään tunnin
30g	Sirkkajauhe	Suodata liemi poistaaksesi sattumat

11. Hyönteiskasvatuksen ja rehukäytön taloudellisuuden tarkastelu

11.1. Hyönteistuotemarkkinoiden kehitysnäkymät

Maailmassa noin kaksi miljardia ihmistä käyttää hyönteisiä ravinnossaan. Hyönteisruoan markkinat ovat kasvamassa. Arviot hyönteisruoan maailmanmarkkinoiden arvosta ja kasvutahdista vaihtelevat. Mordor Intelligence (2019) arvioi maailman hyönteisruoan markkinoiden olleen 323 miljoonaa euroa vuonna 2016 ja vuosina 2018–2023 markkinan arvioidaan kasvavan 22,3 %. Statista (2018) puolestaan arvioi hyönteisruoan markkinoiden kooksi vuonna 2018 noin 344 miljoonaa euroa ja markkinan kasvavan vuoteen 2023 mennessä noin miljardiin euroon. Research and Markets (2019) puolestaan arvioi markkinan koon kasvavan 2030 mennessä jopa noin 7 miljardiin euroon ja 732,7 miljoonaan kilogrammaan. Proteiinipatukoiden ja proteiinipirtelöiden markkinoiden odotetaan kasvavan maailmanlaajuisesti nopeiten ja sirkka on valtalaji hyönteisruokamarkkinoilla (Meticulous research 2019).

Markkinatutkimusyhtiöiden mukaan liikevaihdoltaan suurin hyönteisruoan markkina-alue on Aasian ja Tyynen valtameren alue. Euroopan markkinoiden koko oli vuonna 2018 Statistan (2018) mukaan 73 miljoonaa euroa, ja sen arvioitiin kasvavan 231 miljoonaan euroon vuonna 2023 mennessä (+26 %). Hyönteistuotanto on keskittynyt ruokahyönteisiin, joiden osuus markkinasta oli vuonna 2016 noin 59 %. Rehumarkkinoiden osuus oli 19 % ja kasvatuseläinten 22 % (Statista 2018).

Euroopassa hyönteisalaan on investoitu viime aikoina satoja miljoonia euroja. Vuonna 2018 eurooppalaiset hyönteiskasvattajat keräsivät yli 350 miljoonan euron investointivarat. Lemmikkieläinten rehu on hyönteistuotannon valtavirtaa Euroopassa. IPIFFin arvion mukaan Euroopassa tuotettiin kaupallisesti heinäkuun 2017, jolloin hyönteisten tuottaminen vesieläinten rehuksi tuli sallituksi, ja lokakuun 2018 välisenä aikana noin miljoona kiloa hyönteisproteiinia vesieläinten rehuksi. Hyönteisproteiinin vuoden 2018 kokonaistuotannoksi Euroopassa on arvioitu 1,9 miljoonaa kg, vuonna 2020 noin 194,4 miljoonaa kg ja vuonna 2025 noin 1 213,5 miljoonaa kg. Työllistävän vaikutuksen odotetaan olevan vuonna 2025 hieman alle 20 000 henkilöä, ja välillinen vaikutus mukaan lukien vajaat 40 000 henkilöä. (IPIFF 2018). Suomessa hyönteisruoan markkinat ovat kehityskaarensa alkuvaiheessa. Silti Suomessa on ollut jo yli 50 rekisteröityä hyönteisalan toimijaa.

11.2. Hyönteiskasvatuksen kannattavuuden tarkastelu

Hyönteiskasvatuksen kannattavuutta ja siitä saatavaa taloudellista ylijäämää voidaan arvioida tuotto- ja kustannuslaskelmien avulla. Laskelman laatimiseksi on kerättävä riittävästi tietoa hyönteiskasvatuksen eri tuotantovaiheista, niiden vaatimista satsauksista. Tuotantoa aloittavan yrittäjän näkökulmasta asiaa voidaan tarkastella investointilaskelmana. Tällöin on määriteltävä investoinnin hankintameno, investoinnista saatavat nettotuotot (tuotot miinus kustannukset kullakin ajanjaksolla), investoinnin kesto aika, mahdollinen investointikohteen jäännösarvo ja pääoman kustannus (laskentakorko). Toiminta on taloudellisesti kannattavaa, jos tuotantokustannukset ovat enintään tuottojen suuruiset.

Koska alan on uusi, voi hyönteiskasvatuksen kannattavuuden arviointiin liittyä poikkeuksellisen paljon epävarmuutta muun muassa tuotostason, tuotteiden ja panosten hintojen osalta. Hyönteiskasvatusta aloitettaessa on investoitava muun muassa kasvatustiloihin, välineisiin ja hyönteispopulaatioon. Myös osaamista ja erilaisia tuotantopanoksia on hankittava yrityksen ulkopuolelta. Lisäksi tarvitaan työpanosta. Jos kasvatuksessa käytetään tilan itse tuottamia tuotantopanoksia, kuten rehua, on myös niiden kustannukset huomioitava laskelmissa. Näiden kustannusten ja tuottojen arvioimiseksi on kerättävä mahdollisimman tarkkaa tietoa ja arvioita hyönteiskasvatuksesta.

Hyönteiskasvattamoinvestoinnin arvioinnissa voidaan hyödyntää esimerkiksi tuloslaskelmaa, johon arvioidaan esimerkiksi vuotuiset tulot ja menot:

- Tuotot
 - Myyntituotot
 - Muut tuotot, mukaan lukien mahdolliset tuet
- Kulut
 - Toiminnan muuttuvat kulut (mm. rehut, kasvatusalustat, energia (sähkö, lämpö, valaistus), vesi, pakkaus ja kuljetus, mahdolliset ostopalvelut, aineet ja tarvikkeet)
 - Tilakäyttö (välituotteet, tuotantopanokset, jotka on tuotettu itse)
 - Työn kustannukset (oman työn vaihtoehtoiskustannus, palkkakulut)
 - Kiinteät kulut

Käyttökate=Kokonaistuotto – muuttuvat kulut= tuotto, josta katetaan poistot ja rahoituskulut.

- Poistot (kiinteiden tuotannontekijöiden, kuten rakennuksen, kulumisen vuoksi tehtäväpoisto)
- Rahoituskulut (lainojen korot ym.)
- Oman pääoman korkovaatimus (oman pääoman vaihtoehtoiskustannus eli tuotto, joka saataisiin sijoittamalla varat parhaaseen vaihtoehtoiseen sijoituskohteeseen)

Yrittäjänvoitto=Kokonaistuotto-kaikki kulut.

11.3. Toiminnan aloituskustannukset kotisirkkakasvatuksessa

Suomalaisissa kasvattamoissa kotisirkkojen tuotanto perustuu melko samankaltaisiin ratkaisuihin. Tuotannon aloittamiseksi tarvitaan kasvattamotila, joka on yleensä lämmitetty ja kasvatukseen sopiva eristetty huonetila tai rakennus sekä siihen liittyvät prosessointi- ja varastointitilat. Lisäksi tarvitaan kasvatusalustoja, tarvikkeita ja koneita ja tietenkin kasvatettavia kotisirkkoja. Kasvattamossa voi olla kymmeniä tai satoja kasvatusalustoja.

Tyypillinen kasvatusalusta on muovilaatikko, mutta laatikoiden koko vaihtelee jonkin verran. Laatikoiden sisällä on yleensä munakennoja tuomassa sirkoille lisää elintilaa (pinta-alaa) ja piilopaikkoja. Suuremmissa erissä yhden laatikon hankintakustannus on 10–20 euron suuruusluokkaa. Lisäksi tarvitaan ruokinta- ja juomalaitteet (esim. ruokinta-alustat tai -kipot, juoma-astia).

Lisäksi tarvitaan tarvikkeita ja pienkoneita. Kasvatustilan ilmanvaihdon ja lämpötilan varmistamiseen tarvitaan esim. mittareita, tuulettimia, ilmankostuttimia ja lämmittimiä, mikäli lämpötilan ja ilmankosteuden hallintaa ei ole muuten toteutettu. Lisäksi kasvattamoon tarvitaan vaaka, pakastin sirkkojen lopettamiseen ja säilyttämiseen ja mahdollisesti muitakin pienkoneita.

Ainakin kaksi suomalaista hyönteisalan yritystä tarjoaa sirkkojen kasvatuspaketteja, joiden avulla hyönteiskasvatusta voi aloittaa pienessä tai suuressa mittakaavassa. Yritykset tarjoavat myös tukea ja neuvonta.

Kurikkalainen Finsect Oy tarjoaa tuotannon aloitukseen vähintään 50 kasvatusalustan pakettia, joista kukin tuottaa keskimäärin 2,3 kg sirkkoja. Kasvattamon huonetilavaatimus on tällöin 30 m² tai enemmän. Pakettiin sisältyy myös koulutus, tuottajayhteisön tuki ja yhteys myyntikanavaan. Maaliskuussa 2018 aloituspaketin hinta oli 5 500 € + alv (Jyllilä 2018).

Espoolainen Entocube Oy tarjoaa kolmenlaisia aloituspaketteja, jotka soveltuvat eri mittakaavoihin. Suurimmassa kasvattamopakettissa on sata kasvatuslaatikkoa (á 70 l, noin 4000–5000 sirkkaa per laatikko: tiedot vuodelta 2019), aloituspopulaatio kotisirkkoja, kasvatuskoulutus, toimitus ja käyttöönoton opastus. Sadan kasvatuslaatikon tiloiksi riittävät noin 30–40 m² tilat, joiden läheisyydessä on

pesu- ja prosessointitilat, juokseva vesi sekä pakastin. Yhteen kasvatusyksikköön kuuluu ruokalaite, juottolaite sekä rehua ja munakennoja kuuden kuukauden tarpeiksi. (<https://entocube.com/fi/kasvatus/>).

11.4. Tuotannon muuttuvat kustannukset

Kotisirkkojen kasvatuksesta aiheutuvia muuttuvia kustannuksia ovat muun muassa työvoiman, rehun ja tuoreravinnon, energian ja veden, tarvikkeiden ja materiaalien sekä logistiikkapalveluiden aiheuttamat kustannukset. Kasvatusteknologia ja tuotantotavat kehittyvät jatkuvasti, joten etenkin työn ja rehun menekin kustannukset laskevat tuotekehityksen myötä. Edellä mainitut yritykset ovat myös kehittäneet omat kotimaiset sirkkarehunsä.

Työ on merkittävä muuttuva kustannuserä kotisirkkojen kasvatuksessa. Sirkkojen hoito vie useimmilla tiloilla noin 1–1,5 tuntia päivässä (esim. 30 m² kasvatustila, 46 laatikkoa, Kämäräinen 2018). Kasvattajien haastatteluiden perusteella pienen ja suuren kasvatusalustan hoito vievät kuitenkin käytännössä saman verran työaika, joten kasvatuksen mittakaavan suurentaminen vähentää työmenekkiä sirkkakiloa kohti. Kämäräisen (2018) arvion mukaan kannattava tuotanto vaatisi vähintään 30–50 m² kasvatustilaa. Finsectin mukaan työmenekki on noin 0,75 tuntia per kg (Jyllilä 2018).

Toinen merkittävä kustannuserä on rehu. Rehun menekistä on erilaisia arvioita, kuten noin 3,2 kg anosteltua kuivarehua ja 2,7–2,9 kg tuorerehua per kg tuotettuja sirkkoja (Jyllilä 2018, ENTOLAB-kasvatuskoe) tai noin 1,7 kg kuivarehua per kg tuotettuja sirkkoja (Aaltio 2018). Rehun hankinnan kustannuksina on huomioitava sekä rehun ostohinta, että sen tilalle toimittamisen kustannus, joka voi olla suuri suhteessa rehun hintaan.

Kolmas merkittävä kustannuserä on energia, sillä kotisirkkoja kasvatetaan trooppisissa olosuhteissa ja säilytetään kylmässä. Siten tilojen lämmitys ja pakastaminen vaativat energiaa.

Muita kotisirkkojen kasvatukseen liittyviä kustannuksia ovat muun muassa yritystoiminnan normaalit kulut, kuten posti-, puhelin- ja tietoliikennekulut, kirjanpito, vakuutukset ja pakkaustarvikkeet.

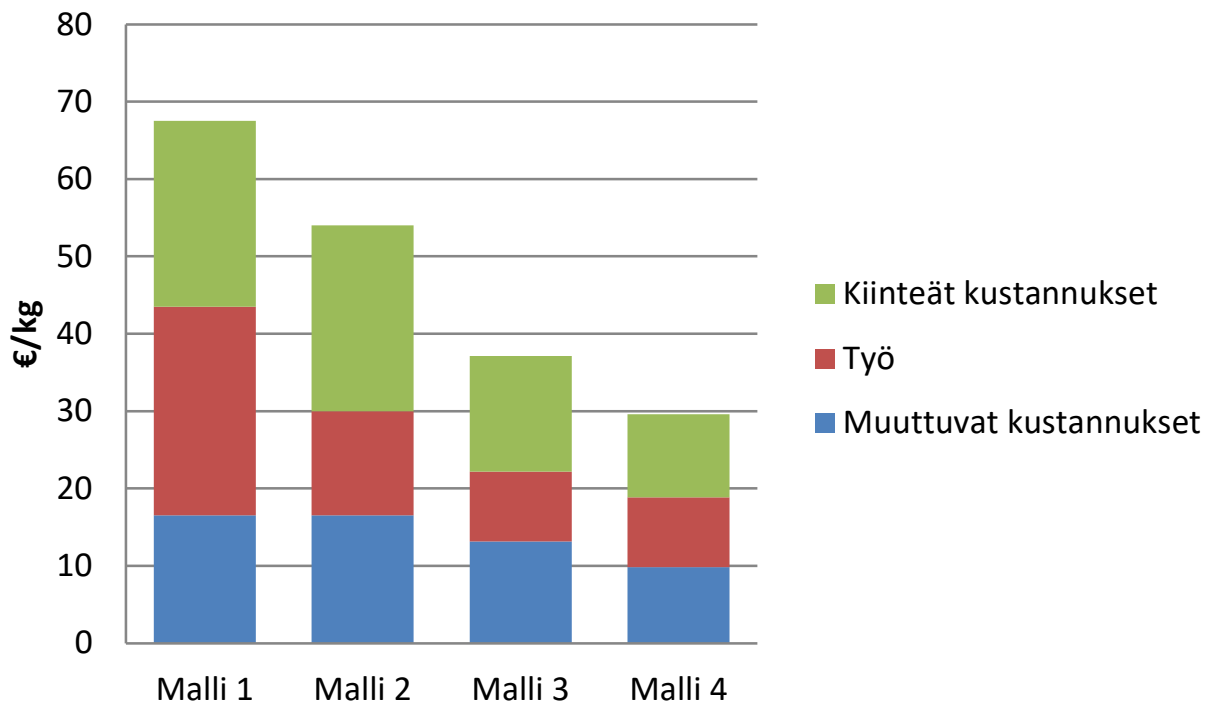
11.5. Kotisirkkojen kasvatuksen kannattavuusnäkyviä

Taulukossa 11 on esitetty kahdesta eri tutkimuksesta poimittuihin tietoihin perustuvia laskelmia kotisirkkojen kasvatuksen yksikkötuotantokustannuksista. Raporttien tietoja on täydennetty puuttuvilta osin. Selvitysten mukaan kotisirkkojen kasvatuksen muuttujat ja kiinteät kustannukset voitaisiin kattaa saatavilla tuotoilla, mutta yrittäjän työnsä saama korvaus voi jäädä tavoitteesta.

Kotisirkkojen kasvatuksen kannattavuuden kannalta ratkaisevia tekijöitä ovat tuotteesta saatava hinta, työmenekki suhteessa tuotettuun sirkkamäärään, rehu-, energia-, logistiikka-, rakennus- ja aloituskustannukset sekä sirkkojen kasvu ja elinvoimaisuus. Kotisirkkojen kasvatusta on vielä toistaiseksi melko käsityövaltaista. Esimerkiksi Caraballon (2017) selvityksessä kotisirkkojen tuotantokustannuksista peräti noin puolet oli työkustannuksia, 30 % kiinteitä kustannuksia ja 20 % muita muuttuvia kustannuksia.

Ala kuitenkin kehittyy nopeasti. Yksikkötuotantokustannustaso on 2–3 vuodessa laskenut merkittävästi ja parin vuoden takaiset laskelmat lienevät jo vanhentuneita. Kuvassa 13 on esitetty ENTOLAB-hankkeen laskemia skenaarioita kotisirkkojen kasvatuksen yksikkötuotantokustannuksista. Malli 1 on kustannuksitaan pääosin samankaltainen Caraballon (2017) laskelman kanssa. Merkittävin ero on työ- ja energiakustannuksissa. Mallissa 2 työmenekki on alan yrityksestä saadun tiedon mukainen ja malleissa 3 ja 4 sekä työn, kiinteiden kustannusten että muuttuvien tuotantopanosten käyttöä on entisestään tehostettu, mikä edellyttää muun muassa suurempaa tuotannon mittakaavaa.

Tällä hetkellä hyönteisten kasvatusta Suomessa on vielä käsityövaltaista toimintaa, mikä nostaa yksikkötuotantokustannuksia. Hyönteisten teollisen tuotannon suurena haasteena on kehittää automaatioprosesseja, jolloin tuotannosta saadaan taloudellisesti kilpailukykyistä muiden valkuaislähteiden kanssa. Tuotannon automatisointi on olennainen tekijä työ- ja kiinteiden kustannusten alentamiseksi tuotettua sirkkakiloa kohti. Se on keskeinen edellytys alan kasvulle ja tuotannon harjoittamiseksi suurissa mittakaavassa ja tuotannon volyymin lisäykselle.



Kuva 13. Neljä ENTOLAB-hankkeessa laadittua skenaariota kotisirkan tuottamisen kustannuksista (€/kg sirkkaa).

Taulukko 11. Arvioita kotisirkkojen kasvatuksen tuotantokustannuksista (€/kg sirkkoja, alv 0 %, mukaillen Teerikorpi 2018, Caraballo 2017).

	Caraballo (2017)	Teerikorpi (2018)
Tuotantomäärä, kg/vuosi	175	2400
Laskelmassa käytetty tuotteen hinta, €/kg	70	25
Muuttuvat kustannukset	€/kg	€/kg
Rehu	6,39	5,90
Multa	0,23	
Munakennot	0,83	1,32
Pesu- ja puhdistustarvikkeet	0,11	0,15
Vesipaperi	0,08	
Vakuumpussit	0,10	
Sähkö	0,46	0,46
Vesi ja jätevesi	0,01	0,01
Pakkaus	0,24	
Rahti	7,26	
Eläinpääoman korko	0,16	
Liikepääoman korko	0,29	
Yhteensä	16,16	7,84
Työkustannus (15,80 €/h)	41,19	31,60
Kiinteät kustannukset		
Rakennuskustannukset	4,71	3,24
Kasvatusalustat		
Kurkun hakeminen	3,60	
Puhelin ja internet	0,28	
Aloituspakkaus	11,43	
Tuulettimet, vaaka, vesipullo, lämpöpatteri	0,92	
Pakastin	2,29	0,34
Astianpesukone		0,22
Tehosekoitin	0,46	
Vakuumilaite	0,92	
Kiinteät kustannukset yhteensä	24,16	3,80
Tuotantokustannus	81,51	43,24

11.6. Hyönteisten käyttö tuotantoeläinten rehuksi

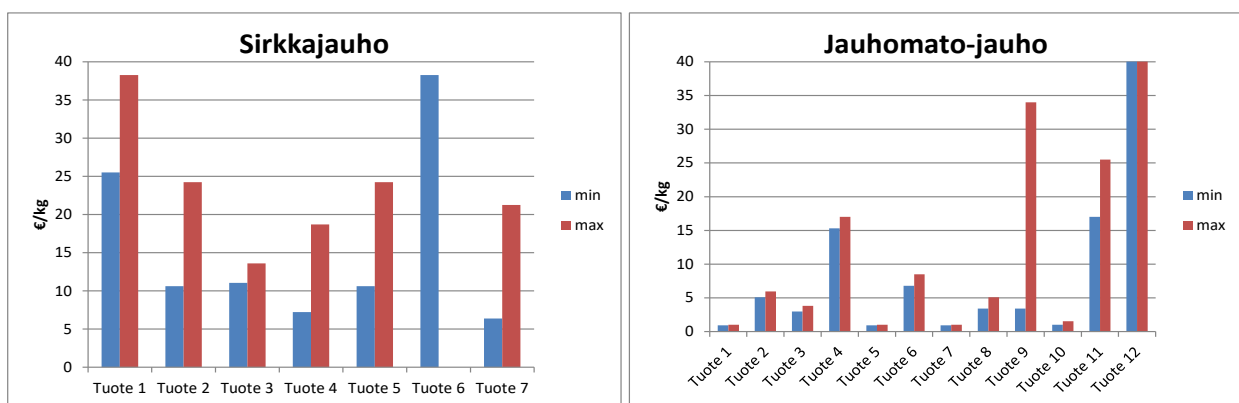
Hyönteistuotantoa aloittavan yrittäjän kannattaa miettiä tarkkaan, mille markkinoille hän tuotteillaan tähtää. Ruokamarkkinat ovat olleet viime aikoina näkyvimmin esillä, mutta hyönteisistä saadaan tuotteita myös rehumarkkinoille ja esimerkiksi kemianteollisuuteen ja muillekin toimialoille.

Suomessa ei ole tilastotietoa hyönteistuotteiden markkinahinnoista. Edellisissä luvuissa mainituissa tutkimuksissa kotisirkkan hinnat vaihtelevat 25–70 €/kg välillä. Kuluttajamarkkinoilla hinnat voivat olla jopa 100–400 €/kg, mutta annoskoot ovat tällöin yleensä pieniä. Kuluttajamarkkina lienee tällä hetkellä enemmän niche-markkina, vaikka esim. leipätuotteet ovat melko laajalti kokeiltuja.

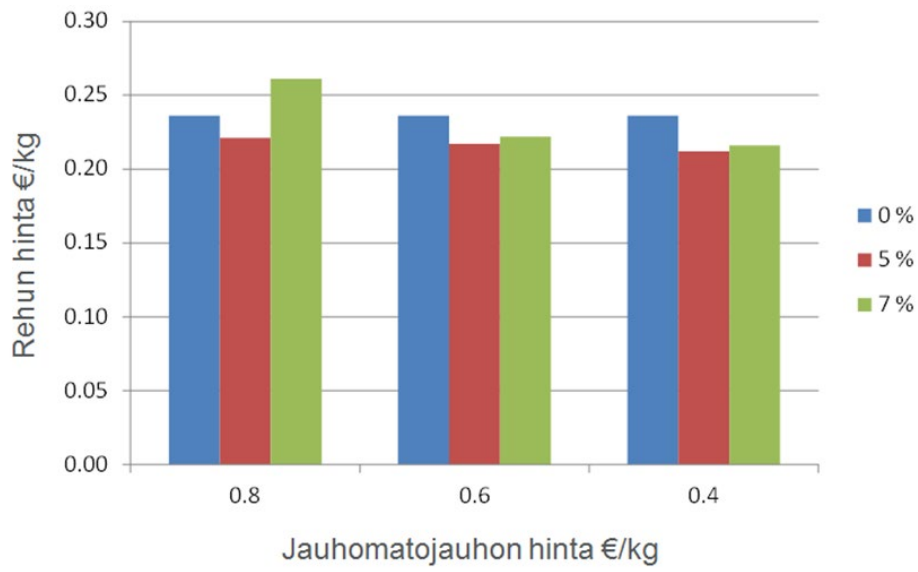
Hyönteiskasvatuksen jatkuvuus edellyttää, että se on taloudellisesti järkevää eri toimijoille. Etenkin rehukäytössä tuotteen matala hinta, riittävä saatavuus ja ravitsemuksellinen arvo ovat tärkeitä. Hyönteisrehun tulisi olla riittävän edullista suhteessa muihin valkuaisen lähteisiin, jotta se tulisi valituksi eläinten rehuresepteihin. Kuvassa 14 on esimerkkejä joidenkin tuotteiden yksikköhinnoista maailmalta. Hyönteistuotteiden hinnat voivat vaihdella huomattavasti riippuen siitä, mistä tuotteesta, minkä laatuista tuotteesta ja miten suuresta määrästä on kyse. Taulukossa 8 on Rumpoldin ja Schluterin (2013b) tuloksiin perustuva yhteenveto eri hyönteisten ravintosisällöstä.

Hyönteiset ruokaketjussa-hankkeessa toteutettiin kaksi koetta, joissa testattiin jauhomadon jauhon käyttöä broilerin ja kirjolohien rehussa. Hyönteisrehua syöneet linnut kasvoivat kontrollilintuja heikommin. Tulosten mukaan hyönteisrehulla voidaan korvata kalajauhoa, mutta rehun koostumukseen kiinnitettävä huomiota. Kirjolohen rehussa hyönteisjauhoa sai olla jopa 9 % ennen kuin kalojen kasvu, rehukerros ja valkuaisen muutotehokkuus alkoivat heikentyä.

Kuvassa 15 on esitetty lineaarisen ohjelmoinnin mallilla ENTOLAB-hankkeessa tehty tarkastelu siitä, miten jauhomatojauhon sisällyttäminen eläinten rehuun voisi vaikuttaa rehun hintaan erilaisilla käytömäärillä ja hyönteisjauhon hinnoilla. Tulokset viittaavat siihen, että osa eläinten valkuaisen tarpeesta voitaisiin korvata jauhomatorehulla, mikäli se olisi riittävän edullista, mutta hyönteisjauhon määrää ei kannata lisätä yli 5–10 prosenttiin rehusta. Nykyisellä tuotantokustannustasolla sirkkajauho ole kilpailukykyinen tuotantoeläinten rehuaine, mutta jauhomato saattaa olla, mikäli se saadaan rehuaineeksi riittävän edullisesti.



Kuva 14. Esimerkkejä bulkkituotteiden (sirkkajauhotuotteet N=7 tarjoajaa ja jauhomatojauhotuotteet N=12 tarjoajaa) hinnoista maailmalta. Min kuvaa alinta ja max korkeinta saman tarjoajan ilmoittamaa hintaa eri ajankohdina (lähde: Alibaba, 2019).



Kuva 15. Siipikarjanrehun hinta, kun rehussa on 0, 5 tai 7 % jauhomatojauhoa.

12. Yhteenveto

Tässä raportissa on tarkasteltu hyönteisten kasvatuksen käytäntöjä ja edellytyksiä Suomessa. Maailmassa noin kaksi miljardia ihmistä käyttää hyönteisiä ravintonaan ja syötäväksi kelpaavia hyönteislajeja tunnetaan parisen tuhatta. Suomessa hyönteisten kasvatusta ruoaksi markkinoille harjoittava yritystoiminta käynnistyi kuitenkin vasta muutama vuosi sitten. Ruoaksi on Suomessa sallittu vain tiettyjen kasvatettujen kokonaisten hyönteisten käyttö. Kokonaisia hyönteisiä voidaan rouhia, jauhaa tai kuivata, mutta niistä ei saa poistaa osia (esimerkiksi siipiä, jalkoja tai päätä) eikä eristää tai uuttaa ainesosia (esimerkiksi rasva- tai proteiinijakeita). Hyönteiset luetaan uuselintarvikkeiksi, joten ruokakäytössä niille on haettava ja saatava uuselintarvikehyväksyntä. Valkuaispitoisuutensa vuoksi hyönteiset voivat olla myös hyvä rehuaines ja lisäksi hyönteisistä voidaan saada muun muassa kitiiniä ja eräitä muita teollisuudessa käytettäviä raaka-aineita.

Joidenkin arvioiden mukaan maailman hyönteisruoan markkinan koko oli vuonna 2018 noin 350 miljoonan euron suuruusluokkaa ja markkinan kasvavan 5–10 vuoden kuluessa merkittävästi, joskin kasvunopeudesta on vaihtelevia arvioita. Liikevaihdoltaan suurin hyönteisruoan markkina-alue on Aasian ja Tyynen valtameren alue. Maailmanlaajuisesti tarkasteltuna tuotanto on keskittynyt ruokahyönteisiin, joiden osuus markkinasta oli vuonna 2016 noin 59 %. Sekä rehu- ja kasvatuseläinten osuuden markkinoista on arvioitu olevan noin 20 % luokkaa. Hyönteisproteiinin vuoden 2018 kokonaistuotannoksi Euroopassa on arvioitu 1 900 tonnia, mutta vuoden 2020 tuotannoksi on arvioitu jopa noin 194 000 tonnia.

Suomessa hyönteisruoan markkinat ovat kehityskaarensa alkuvaiheessa. Alkuinnostuksen jälkeen tuotannon kasvu on tasaantunut ja tuotteiden hinnat näyttävät laskeneen, mutta samalla myös tuotanto on muuttunut kustannustehokkaammaksi. Hyönteiskasvatusta harjoittaa tai on harjoittanut Suomessa jo kymmeniä hyönteisalan toimijoita. Koska ala on uusi, voi hyönteiskasvatuksen kannattavuuden arviointiin liittyä poikkeuksellisen paljon epävarmuutta muun muassa tuotostason, tuotteiden ja panosten hintojen vaihtelun vuoksi. Hyönteiskasvatuksen kannattavuuden ja jatkuvuuden kannalta ratkaisevia tekijöitä ovat tuotteesta saatava hinta, työmenekki suhteessa tuotettuun sirkkamäärään, rehu-, energia-, logistiikka-, rakennus- ja aloituskustannukset sekä sirkkojen kasvu ja elinvoimaisuus.

Hyönteistuotantoa aloittavan yrittäjän kannattaa miettiä tarkkaan, mille markkinoille hän tähtää. Ruokamarkkinat ovat olleet näkyvimmin esillä, mutta hyönteisistä saadaan tuotteita myös rehumarkkinoille ja esimerkiksi kemianteollisuuteen ja muillekin toimialoille. Vaikka uutta teknologiaa kehitetäänkin vauhdilla, hyönteisten kasvatusta on Suomessa vielä melko käsityövaltaista toimintaa, mikä nostaa yksikkötuotantokustannuksia. Hyönteiskasvatuksen jatkuvuus edellyttää, että se on taloudellisesti järkevää eri toimijoille. Hyönteisten teollisen tuotannon suurena haasteena onkin kehittää automaatioprosesseja, jolloin tuotannosta saadaan taloudellisesti kilpailukykyistä muiden valkuaislähteiden kanssa. Tuotannon automatisointi on olennainen tekijä työ- ja kiinteiden kustannusten alentamiseksi tuotettua hyönteistonnin kohti. Se on keskeinen edellytys alan kasvulle ja tuotannon harjoittamiseksi suuressa mittakaavassa ja tuotannon volyymin lisäykselle. Etenkin rehukäytössä tuotteen matala hinta, riittävä saatavuus ja ravitsemuksellinen arvo ovat tärkeitä. Hyönteisrehun tulisi olla riittävän edullista suhteessa muihin valkuaisen lähteisiin, jotta se tulisi valituksi eläinten rehuresepteihin. Nykyisellä tuotantokustannustasolla esimerkiksi sirkkajauho ei ole kilpailukykyinen tuotantoeläinten rehuaine, vaikka se ruokamarkkinoilla voikin pärjätä. Sen sijaan jauhomatoa on ollut saatavilla maailmanmarkkinoilla ajoittain melko edulliseenkin hintaan.

Hyönteiskasvatuksen tuotantoprosessin vaiheet ovat munien tuotanto, kasvatusvaihe, hyönteisten lopetus sekä tuotteen käsittely. Näihin kuhunkin sisältyy useita alakohtia. Yleisimmin kasvatettavien hyönteisten kasvatusta vaatii trooppisia olosuhteita noin 25–30 °C lämpötilaa ja 60–70 % ilmankosteutta. Myös valaistus ja kasvatustiheys voivat vaikuttaa hyönteisten kasvuun ja käyttäytymiseen. Tässä

raportissa on keskitytty etenkin kotisirkkojen kasvatukseen, mutta myös muita lajeja kuten jauhoma-toja ja mustasotilaskärpäsien toukkien kasvatusta on käsitelty. Näiden hyönteislajien välillä on joitain eroja niiden kasvatukselle asettamista vaatimuksista.

Hyönteiset ovat tasalämpöisiin eläimiin verrattuna tehokkaampia muuttamaan rehua eläinvalkuaiseksi ja rasvaksi, ja hyönteisten rehuhyötysuhteen on todettu olevan parempi kuin perinteisillä tuotan-toeläimillä. Hyönteisten ravintoainetarpeet ovat melko samankaltaiset kuin kehittyneemmällä eläi-millä, lukuun ottamatta sterolien tarvetta ja muutamia muita poikkeuksia. Hyönteiset tarvitsevat ami-nohappoja, vitamiineja ja kivennäis- ja hivenaineita sekä hiilihydraatteja, lipidejä ja steroleja. Ravinto-aineiden tulisi olla tasapainossa toisiinsa nähden, erityisesti proteiinien (aminohappojen) ja hiilihyd-raattien suhde tulee olla lajikohtaisesti oikea. Optimaalinen hyönteisille tarkoitettu rehu sisältää yleensä kaikkia tai useimmat seuraavista: proteiinit tai aminohapot, hiilihydraatit, rasvahapot, koleste-rol, koliini, inositol, pantoteenihappo, nikotiiniamidi, tiamiini, riboflaviini, foolihappo, pyridoksiini, B12-vitamiini, karoteeni tai A-vitamiini, tokoferoli, C-vitamiini, kivennäisaineet ja hivenaineet ja vesi. Jotkut hyönteislajit tarvitsevat myös nukleiinihappoja tai rasvaliukoisia vitamiineja, kuten A, E ja K.

Hyönteisten saaman ravinnon määrä ja laatu vaikuttavat koko hyönteisten elinkiertoon, kuten kas-vuun, kehittymiseen ja lisääntymiseen. Toukkavaiheessa syöty rehumäärä ja rehun laatu vaikuttavat myöhempään kasvuun, kehitysaikaan, painoon ja selviytymiseen sekä hedelmällisyyteen, eliniän pituu-teen, liikkumiseen sekä aikuisten hyönteisten kykyyn selviytyä. Esimerkiksi niukasti tai heikompilaa-tuista rehua saaneista toukista tulee huonompilaatuisia koteloita ja aikuisia. TSE-asetuksen mukaisesti käsitellyn eläinvalkuaisen käyttö on elintarviketuotantoeläinten ruokinnassa kielletty, poikkeuksena kalajauho, joka on sallittu myös hyönteisten rehuissa. Rehuissa ei myöskään saa olla salmonellaa. Hyönteisille tarjottavan veden tulee olla puhdasta ja juomavedeksi kelpaavaa. Vettä tarvitaan mm. ku-dosten ylläpitoon, kasvuun ja lisääntymiseen.

ENTOLAB-hankkeen aikana toteutettiin kasvatuskokeilu, jolla kerättiin kokemuksia kotisirkkojen kas-vatuksesta. Ensimmäisessä vaiheessa kokeiltiin yhteensä seitsemää eri rehua, joista yksi oli silloin hyönteisille syötetty kaupallinen rehu. Toisessa vaiheessa hyönteisiä kasvatettiin kahdella itse valmis-tetulla rehulla ja yhdellä kaupallisella rehulla. Hyönteiset kasvatettiin tilalla käytössä olleella tuotanto-prosessilla ja normaaleilla tuotantomäärillä ja -menetelmillä. Kokeilun perusteella rehujen välillä on eroja ja ne voivat vaikuttaa sirkkojen painon kasvuun ja hyönteisten elinvoimaisuuteen. Kasvatusko-keilulla saatiin arvokasta tietoa hyönteisten kasvattamisesta käytännössä ja kotisirkkojen ravinnosta. Kokeilu toimi pohjana tässä oppaassa esitellylle kotisirkkakasvattamon hygieniselle suunnittelulle, ja kokeilun aikana otettujen pintahygienianäytteiden avulla voitiin kartoittaa kasvattamon hygienisiä ris-kejä. Kokeilu osoitti, etteivät kotisirkat hyväksy ravinnokseen mitä tahansa rehua, vaan niiden rehun tulee olla suunniteltu vastaamaan kotisirkkojen ravintovaatimuksia.

Hygienia, taudeilta suojautuminen ja tuoteturvallisuuden varmistaminen ovat olennainen osa menes-tyvää hyönteiskasvatusta. On kiinnitettävä huomiota hyvään hygieeniseen suunnitteluun ja rakenta-miseen, tarkoituksenmukaiseen rakennuksen sijaintiin ja asianmukaiseen tilojen järjestämiseen. Tämä on välttämätöntä, jotta riskejä voidaan hallita tehokkaasti. Hyönteisten tuotantolaitos, mukaan lukien elintarviketilat, rakennukset ja välineet tulee sijoittaa, suunnitella ja rakentaa siten, että kontaminaatio on minimoitu. Toteutuksen tulisi mahdollistaa tilojen asianmukaisen kunnossapidon, puhdistuksen ja desinfioinnin. Myös ilman kautta leviävä kontaminaatio on minimoitava. Pinnat ja materiaalit tulisi va-lita niin, että erityisesti ne, jotka ovat kosketuksissa elintarvikkeisiin, ovat myrkyttömiä, käyttötarkoi-tukseen soveltuvia, sekä riittävän kestäviä ja helppoja pitää puhtaana ja kunnossa. Lämpötilan ja il-mankosteuden säätömahdollisuudet sekä kasvatustilojen suojaaminen haittaeläinten sisäänpääsystä ja pesimistä vastaan on myös varmistettava.

Tällä hetkellä iso osa Suomessa elintarvikkeeksi kasvatetuista hyönteisistä lopetetaan joko pakastamalla tai jäädyttämällä. Tämä on lainsäädännössä tulkittu olevan vielä alkutuotannon toimintaa, joten tässä kappaleessa ei asiaa käsitellä. Hyönteisiä on kuitenkin mahdollista lopettaa myös muilla tavoin. Lopetuksen jälkeen elintarvikkeeksi tarkoitetut hyönteiset prosessoidaan. Yhtenä elintarvikkeeksi prosessoinnin tavoitteena on tuottaa elintarvikkeita, joissa on optimoitu lopputuotteelle halutut ominaisuudet, kuten säilyvyys ja tuotteen turvallisuus. Hyönteisten prosessointi elintarvikkeeksi voi joissain tuotantomalleissa vaatia erillisen dekontaminaatiovaiheen, jolla pyritään varmistamaan tuotteen säilyvyys. Huomattava osa Suomessa markkinoille saatetuista hyönteiselintarvikkeista on toteutettu käyttämällä kuivattuja ja mahdollisesti jauhettuja hyönteisiä. Hyönteisten jauhamisessa on käytössä useita eri välineitä ja tekniikoita.

Tutkimusten mukaan suomalaiset suhtautuvat melko myönteisesti hyönteisruokaan. Noin 70 % suomalaisista kokee hyönteisruoan kiinnostavana ja noin puolet olisi valmis ostamaan hyönteisruokaa. Myönteisimmin suhtaudutaan ruokaan, jossa hyönteiset ovat jauhettuna ja hyönteisten koetaan sopivan paremmin suolaiseen tai mausteiseen kuin makealta maistuvaan ruokaan. Pelkkä kokeilunhalu ei kuitenkaan riitä hyönteisalan tarpeisiin. Hyönteisruoan laajamittaisen käytön edellytyksenä on kuitenkin se, että niiden käyttö arkipäiväistyy ja että kuluttajille ja suurkeittiöille on tarjolla helppoja tapoja käyttää ja valmistaa hyönteisiä, kuten reseptejä ja helppokäyttöisiä tuotteita. Syötäviä hyönteisiä ehdotetaan yleensä lisäämään ruokiin sellaisenaan joko kokonaisena tai jauhettuna. Hyönteisistä valmistettavia ruokia tulisi kuitenkin tarkastella myös arvioimalla hyönteisten lisäämisen hyödyllisyyttä valmistettavaan ruokaan.

Hyönteisruoan kuluttamista perustellaan etenkin ympäristösyillä, proteiinin tarpeen tyydyttämisellä, terveyssyillä, uskalluksella ja kokeilunhalulla. Ympäristöhyötyjen toteuttaminen edellyttää, että tuotanto voidaan integroida osaksi kiertotaloutta, jossa energiaa ja rehua käytetään tehokkaasti ja hyödynnetään muutoin esimerkiksi ihmisten ravinnoksi kelpaamattomia bio- ja energiamassoja. Hyönteisruoka on uutta, joten sen käyttöön liittyy kokeilunhalua, itsensä ylittämistä ja kokemusten hakemista. Kuluttajien ostohalukkuuteen vaikuttavat subjektiivinen ja objektiivinen tieto, jota kuluttajilla on hyönteisruoasta. Tieto vaikuttaa myös asenteisiin hyönteisruokaa kohtaan. Hyönteisruoan ostohalukkuuteen kuluttajamarkkinoilla vaikuttavat ihmisten kokemukset hyönteistuotteista, ruokaan liittyvät pelot, ruoan ulkonäkö, maku ja haju, tieto ja kokemukset, kuten maku- ja maistamiskokemukset. Hyönteisruoan yleistymisen kannalta tärkeää on, että sen käytöstä tehdään helppoa, kuluttajat tuntevat käyttötapoja ja että hyönteisruokaa on saatavilla tavanomaisessa ruuanostopaikassa kohtuulliseen hintaan.

Kirjallisuus

- Aaltio, J. 2018. EntoCuben markkinointipäällikkö Jonas Aaltion puhe Suomen hyönteisruoka-alan tilanteesta Sykettä Savoon-tapahtumassa on taltioitu videona Sirkkaa sopassa mukana sykkeessä SYKE 2018 –tapahtumassa. <https://www.youtube.com/watch?v=0lcNSt-UTOE>. 29 min 19 s. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Mikkeli. 5.9.2018.
- Aarnisalo, K., Tallavaara, K., Wirtanen, G., Majjala, R. & Raaska, L. 2006. The hygienic working practices of maintenance personnel and equipment hygiene in the Finnish food industry. *Food Control* 17: 1001-1011.
- Adkisson, P.L., Vanderzant, E.S., Bull, D.L. & Allison, W.E. 1960. A wheat germ medium for rearing the pink bollworm. *Journal of Economic Entomology* 53: 759–762.
- Agosin, M.R. 1978. Functional role of proteins. Teoksessa: Biochemistry of insects. M. Rockstein (toim.) Academic Press, New York. s. 93–144.
- Aguilar-Miranda, E.D., Lopez, M.G., Escamilla-Santana, C. & Barba de la Rosa, A.P. 2002. Characteristics of maize flour tortilla supplemented with ground *Tenebrio molitor* larvae. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 50: 192–195.
- Ala-Huikko, A., Aaltonen, L., Sivula, E. Karppanen, H., Kangas, S. 2017 Kehittämisprojekti: Sirkkaleipä. SeAMK opiskelijaprojekti. Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Seinäjoki. Saatavana pyynnöstä: ilkka.latomaki@seamk.fi.
- Alibaba 2019. Haettu 26.6.2019 https://www.alibaba.com/trade/search?fsb=y&IndexArea=product_en&CatId=&SearchText=insects+as+food&viewtype=&tab=; read June 26, 2019.
- Alves A.V., Sanjinez-Argandoña, E.J., Linzmeier, A.M., Lima Cardos, C.A. & Rodrigues Macedo, M.L. 2016. Food value of mealworm grown on *Acrocomia aculeata* pulp flour. *PLOS ONE* 11(3): e0151275. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0151275>.
- Anderson, S.J. 2000. Increasing calcium levels in cultured insects. *Zoo Biology* 19(1): 1–9.
- Anderson, T.E. & Leppla, N.C. 1992. Advances in insect rearing for research and pest management. Westview Press, Boulder. 521 s. ISBN-13: 978-0813378350.
- Arresse, E.L. & Soulages, J.L. 2010. Insect fat body: energy, metabolism, and regulation, *Annual Review of Entomology* 55: 207–225.
- Autio, E-M. & Niskala, M., 2018. Kehittämisprojekti: Ravitsemusväitteen toteutuminen sirkkaleivässä. SeAMK opiskelijaprojekti. Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Seinäjoki. Saatavana pyynnöstä: ilkka.latomaki@seamk.fi
- Awasthi, V.B. 2013. Food and feeding behaviour. Teoksessa: Principles of insect behaviour. 2. painos. Scientific Publishers, Jodhpur. eISBN: 978-93-86237-86-6. s. 61–72.
- Banks, I.J., Gibson, W.T. & Cameron, M.M. 2014. Growth rates of black soldier fly larvae fed on fresh human faeces and their implication for improving sanitation, *Tropical Medicine & International Health* 19: 14–22.
- Bednářová, M., Borkovcová, M., Mlček, J., Rop, O. & Zeman L. 2013. Edible insects — species suitable for entomophagy under condition of Czech Republic. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 61: 587–593.
- Bellows, T.S. & Fisher, T.W. 1999. Handbook of Biological control: Principles and applications of biological control. Academic Press, New York. 1046 s. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-257305-7.X5046-2>.
- Belluco S., Losasso C., Maggioletti M., Alonzi C.C., Paoletti M.G. & Ricci A. 2013. Edible insects in a food safety and nutritional perspective: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 12: 296–313.
- Berenbaum, M. 1985. Brementown revisited: Interactions among allelochemicals in plants. *Recent Advances in Phytochemistry* 19: 139–169.
- Berezina, N. 2017. Insects: novel source of lipids for a fan of applications. *OCL - Oilseeds and fats, Crops and Lipids* 24(4): D402 (9 s.).
- Biancarosa, I., Liland, N.S., Biemans, D., Araujo, P., Bruckner, C.G., Waagbø, R., Torstensen, B.E., Lock, E.J. & Amlund, H. 2017. Uptake of heavy metals and arsenic in black soldier fly (*Hermetia illucens*)

- larvae grown on seaweed-enriched media. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 98: 2176–2183.
- Bjørge, J.D., Overgaard, J., Malte, H., Gianotten, N. & Heckmann, L.-H. 2018. Role of temperature on growth and metabolic rate in the tenebrionid beetles *Alphitobius diaperinus* and *Tenebrio molitor*. *Journal of Insect Physiology* 107: 89–96.
- Bondari, K. & Sheppard, D.C. 1981. Soldier fly larvae as feed in commercial fish production. *Aquaculture* 24: 103–109.
- Booth, D.T. & Kiddell, K. 2007. Temperature and the energetics of development in the house cricket (*Acheta domestica*). *Journal of Insect Physiology* 53: 950–953.
- Booth, D.C. & Sheppard C. 1984. Oviposition of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): Eggs, masses, timing, and site characteristics. *Environmental Entomology* 13: 421–423.
- Bukenbergs, S. 2015. Insecten als 'novel food' in de kippensector: Onderzoek naar chitineverteerbaarheid en evaluatie van een nieuwe chitine analysemethode. Master Thesis of Veterinary Medicine. Ghent University, Ghent. 71 s.
- Bulak, P., Polakowski, C., Nowak, K., Waśko, A., Wiącek, D. & Bieganski, A. 2018. *Hermetia illucens* as a new and promising species for use in entomoremediation. *Science of the Total Environment* 633: 912–919.
- Busvine J.R. 1955. Simple methods for rearing the cricket (*Gryllulus domesticus* L.) with some observations on speed of development at different temperatures. *Proceedings of Royal Entomological Society of London* 30: 15–18. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.1955.tb00163.x>
- Caligiani, A., Marseglia, A., Leni, G., Baldassarre, S., Maistrello, L., Dossena, A. & Sforza, S. 2018. Composition of black soldier fly prepupae and systematic approaches for extraction and fractionation of proteins, lipids and chitin. *Food Research International* 105: 812–820.
- Caparros Megido, R., Desmedt, S., Blecker, C., Béra, F., Haubruge, É., Alabi, T. & Francis, F. 2017. Microbiological load of edible insects found in Belgium. *Insects* 8(1): 12, doi:10.3390/insects8010012
- Caraballo, M. 2017. Kotisirkkojen kasvatuksen kustannusrakenne. 45+2 s. Tampereen ammattikorkeakoulu, Tampere.
- Carroll, M., Hanlon, A., Hanlon, T., Zangerl, A.R. & Berenbaum, M.R. 1997. Behavioral effects of carotenoid sequestration by the parsnip webworm *Depressaria pastinacella*. *Journal of Chemical Ecology* 23: 2707–2719.
- Carter, H.E., Bhattacharyya, P.K., Weidman, K.R. & Fraenkel, G. 1952. Chemical studies on vitamin B₁₂. Isolation and characterization as carnitine. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 38: 405–416.
- Caruso D., Devic E., Subamia W.I., Talamond P. & Baras E. (toim.) 2013. Technical handbook of domestication and production of *Diptera* Black Soldier Fly (BSF) *Hermetia illucens*, Stratiomyidae. PT Penerbit IPB Press, Kampus IPB Taman Kencana Bogor. 159 s. ISBN: 978-979-493-610-8.
- Cerritos, R. 2009. Insects as food: an ecological, social and economical approach. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 4(27): 1–10.
- Chapman, R.F. 1998. The insects: Structure and function. 4th ed. Cambridge University Press, Cambridge, 929 s.
- Chapman, R. F. & De Boer, G. (toim.) 1995. Regulatory mechanisms in insect feeding. Springer, Boston. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1775-7>. 398 s.
- Chippendale, G.M. 1978. The functions of carbohydrates in insect life processes. Teoksessa: Rockstein, M. (toim.) *Biochemistry of Insects*. Academic Press, New York. s. 2–57.
- Chippendale, G.M. & Beck, S.D. 1964. Nutrition of the European corn borer, *Ostrinia nubilalis* (Hubner). V. Ascorbic acid as the corn leaf factor. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 7: 241–248.
- Clark, B., Panzone, L.A., Stewart, G.B., Kyriazakis, I., Niemi, J.K., Latvala, T., Tranter, R., Jones, P. & Frewer, L.J. 2019. Consumer attitudes towards production diseases in intensive production systems. *PLoS ONE* 14(1): e0210432. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210432>.

- Clifford, C.W. & Woodring, J. 1990. Methods for rearing the house cricket, *Acheta domesticus* (L.), along with baseline values for feeding rates, growth rates, development times, and blood composition. *Journal of Applied Entomology* 109 (1-5): 1–14.
- Clifford, W., Roe, R.M. & Woodring J., P., 1977: Rearing methods for obtaining house crickets *Acheta domesticus* of known age, sex and instar. *Annals of the Entomological Society of America* 70 (1), 69–74.
- Cloutier, J. 2015. Edible insects in Africa: An introduction to finding, using and eating insects. Agrodok 54. Agromisa Foundation and CTA, Wageningen. 80 s. ISBN 978-90-8573-146-7. <https://hdl.handle.net/10568/73150>.
- Cohen, A.C. 2004. Insect diets. Science and Technology. CRC Press, Boca Raton. 473 s. eBook ISBN9780429168086.
- Collavo, A., Glew, R.H., Huang, Y.-S., Chuang, L.-T., Bosse, R. & Paoletti, M.G. 2005. House cricket small-scale farming. Teoksessa: Paoletti, M.G. (toim.) Ecological implications of minilivestock. Science Publishers, Inc., Enfield. s. 515–540.
- Connat, J.L., Delbecque, J.P., Glitho, I. & DelaChambre, J. 1991. The onset of metamorphosis on *Tenebrio molitor* larvae (Insecta, Coleoptera) under grouped, isolated, and starved conditions. *Journal of Insect Physiology* 37: 653–662.
- Consoli, F.L. & Parra, J.R.P. 2002. Criacao in vitro de parasitoides e predadores. Teoksessa: Parra, J.R.P., Botelho, P.S.M., Correa-Ferreira, B.S. & Bento, J.M.S. (toim.) Controle biologico no Brasil: parasitoides e predadores. Editora Manole, Sao Paulo. s. 239–275.
- Cooper, J.E. 2011. Anesthesia, analgesia and euthanasia of invertebrates; *ILAR Journal* 52: 196–204.
- Cotton, R. T. 1940. The mealworms. *USDA Technical Bulletins* Leaflet 195.
- Cotton, R.T. & George, R.A. 1929. The meal worms. Technical Bulletin. U.S. Government Publishing Office, Washington, D.C. 95: 1–37.
- Cymborowski, B. 1973. Control of the circadian rhythms of locomotor activity in the house cricket. *Journal of Insect Physiology* 19: 1423–1440.
- Davis, G.R.F. 1974. Protein nutrition of *Tenebrio molitor* L. XVII. Improved amino acid mixture and interaction with dietary carbohydrate. *Archives internationales de physiologie et de biochimie* 82: 631–637.
- Davis, G.R.F. & Sosulski, F.W. 1974. Nutritional quality of oilseed protein isolates as determined with larvae of the yellow mealworm *Tenebrio molitor* L. *The Journal of Nutrition* 104: 1172–1177.
- De Marco, D., Martínez, S., Hernandez, F., Madrid, J., Gai, F., Rotolo, L., Belforti, M., Bergero, D., Katz, H., Dabbou, S., Kovitvadhi, A., Zoccarato, I., Gasco, L. & Schiavone, A. 2015. Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. *Animal Feed Science and Technology* 209: 211–218.
- de Vries, M. & de Boer, I.J.M. 2010. Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livestock Science* 128(1–3): 1–11.
- DeFoliart, G. 1991. Insect fatty acids: similar to those of poultry and fish in their degree of unsaturation, but higher in the polyunsaturates. *Food Insects Newsletter* 4: 1–4.
- DeFoliart, G. 1992. Insects as human food. *Crop Protection* 11: 395–399.
- Dick, J. 1937. Oviposition in Certain *Coleoptera*. *Annals of Applied Biology* 24: 762–796.
- Diclaro II, J.W. & Kaufman, P.E. 2009. Black soldier fly *Hermetia illucens* Linnaeus (Insecta: Diptera: Stratiomyidae). EENY-461, University of Florida, Gainesville. 4 s. <https://edis.ifas.ufl.edu/in830>.
- Diener, S., Solano, N.M.S., Gutierrez, F.R., Zurbrugg, C. & Tockner, K. 2011. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. *Waste and Biomass Valorization* 2: 357–363.
- Diener, S., Zurbruegg, C. & Tockner, K. 2009. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. *Waste Management & Research* 27: 603–610.
- Diener, S., Zurbrugg, C. & Tockner, K. 2015. Bioaccumulation of heavy metals in the black soldier fly, *Hermetia illucens* and effects on its life cycle. *Journal of Insects as Food and Feed* 1: 261–270.

- Dobermann, D., Swift, J. & Field, L. 2017. Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. *Nutrition Bulletin* 42: 293-308.
- Donahue, P. (toim.) 2017. Black soldier fly biowaste processing. A step-by-step guide. Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf. 88 s. http://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF_Biowaste_Processing_HR.pdf
- Donkin, R.A. 1977. Spanish Red: An ethnogeographical study of cochineal and the opuntia cactus. *Transactions of the American Philosophical Society* 67 (5): 1–84.
- Dossey, A.T., Tatum, J.T & McGill, W.L. 2016. Chapter 5 - Modern insect-based food Industry: Current status, insect processing technology, and recommendations moving forward. Teoksessa Dossey, A.T., Morales-Ramos, J.A. & Guadalupe Rojas, M. (toim.) *Insects as sustainable food ingredients*. Academic Press, San Diego, s. 113–152.
- Downer, R.G. 1978. Functional role of lipids in insects. Teoksessa: Rockstein, M. (toim.), *Biochemistry of insects*. Academic Press, New York. s. 57–92.
- Dunbar, B.S. & Winston, P.W. 1975. The site of active uptake of atmospheric water in larvae of *Tenebrio molitor*. *Journal of Insect Physiology* 21: 495–500.
- EFSA Scientific Committee 2015. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal* 13 (10): 4527. doi:10.2903/j.efsa.2015.4257. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2015.4257>.
- Elvin, C.M., Carr, A.G., Huson, M.G., Maxwell, J.M., Pearson, R.D., Vuocolo, T., Liyou, N.E., Wong, D.C.C., Meritt, D.J. & Dixon, N.E. 2005. Synthesis and properties of crosslinked recombinant pro-resilin. *Nature* 437: 999–1002.
- Entocube 2018. Kasvatus. Haettu 6.6.2018 osoitteesta <https://entocube.com/fi/kasvatus/>.
- Erens, J., van Es, S., Haverkort, F., Kapsomenou, E. & Luijben, A. 2012. A Bug's Life. Large-scale insect rearing in relation to animal welfare. Wageningen University, Wageningen. 57 s. <http://venik.nl/site/wp-content/uploads/2013/06/Rapport-Large-scale-insect-rearing-in-relation-to-animal-welfare.pdf>.
- Erickson, M.C., Islam, M., Sheppard, C., Liao, J. & Doyle, M.P. 2004. Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* serovar Enteritidis in chicken manure by larvae of the black soldier fly. *Journal of Food Protection* 67: 685–690.
- Esperk, T., Tammaru, T. & Nylin, S. 2007. Intraspecific variability in number of larval instars in insects. *Journal of Economic Entomology* 100: 627–645.
- Evira 2017a. Hyönteiset elintarvikkeina. Haettu Eviran nettisivuilta osoitteesta <https://www.evira.fi/elintarvikkeet/valmistus-ja-myynti/elintarvikeryh-mat/hyonteiset/>. Uusi osoite on <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/elintarvikeala/elintarvikkeiden-alkutuotanto/elaimista-saatavat-elintarvikkeet/hyonteiset/>.
- Evira 2017b. Hyönteisiä rehuksi. Tiedote. Evira/3740/0405/2017. Haettu osoitteesta https://www.evira.fi/globalassets/elaimet/rehut/tiedotteet/tied2017/tiedote_3740_0405_2017.pdf uusi osoite on: https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/yritykset/rehuala/tiedotteet/tied2017/tiedote_3740_0405_2017.pdf
- Evira 2018a. Frequently asked questions about insect food. Haettu 6.6.2018 osoitteesta <https://www.evira.fi/en/foodstuff/manufacture-and-sales/food-categories/insects-as-food/frequently-asked-questions>.
- Evira 2018b. Hyönteiset elintarvikkeena. Haettu 2.5.2018 https://www.evira.fi/globalassets/tietoa-evirasta/lomakkeet-ja-ohjeet2/elintarvikkeet/eviran_ohje_10588_2_fi.pdf.
- EU asetus 142/2011. Komission asetus (EU) N:o 142/2011 ... neuvoston asetuksen (EY) N:o 1069/2009 täytäntöönpanosta, artiklat 17 ja 24. 2011R0142 — FI — 14.12.2012 — 002.001/21, 24-25.
- European Hygienic Engineering & Design Group (EHEDG) 2014. Hygienic Design Principles for Food Factories (DOC 44). EHEDG, Frankfurt. 133 s.
- EY asetus EY/1069/2009. Euroopan Parlamentin ja Neuvoston asetus (EY) N:o 1069/2009 muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden ja niistä johdettujen tuotteiden terveysäännöistä, artiklat 10 ja 14. *Euroopan unionin virallinen lehti* L 300/14–15, 17.

- EY asetus EY/178/2002. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 178/2002 elintarvikelain-säädäntöä koskevista yleisistä periaatteista ja vaatimuksista, Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen perustamisesta sekä elintarvikkeiden turvallisuuteen liittyvistä menettelyistä
- EY asetus EY/183/2005. Euroopan Parlamentin ja Neuvoston asetus (EY) N:o 183/2005 rehuhygieniä koskevista vaatimuksista. 2005R0183 — FI — 12.11.2015 — 003.001, 35 s.
- EY asetus EY/1831/2003. Euroopan Parlamentin ja Neuvoston asetus (EY) N:o 1831/2003 eläinten ruokinnassa käytettävistä lisäaineista. 2003R1831 — FI — 25.03.2005 — 001.001, 23 s.
- EY asetus EY/767/2009. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 767/2009, annettu 13 päivänä heinäkuuta 2009, rehun markkinoille saattamisesta ja käytöstä ..., liite III. *Euroopan unionin virallinen lehti* L 229/19.
- EY asetus EY/852/2004. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 852/2004, annettu 29 päivänä huhtikuuta 2004, elintarvikehygieniasta. 2004R0852 — FI — 20.04.2009 — 002.001, 23 s.
- EY asetus EY/853/2004. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 853/2004, annettu 29 päivänä huhtikuuta 2004, eläinperäisiä elintarvikkeita koskevista erityisistä hygieniasäännöistä. 02004R0853 — FI — 21.11.2017 — 017.001, 78 s.
- EY direktiivi 2002/32/EY. Euroopan Parlamentin ja Neuvoston direktiivi 2002/32/EY, annettu 7 päivänä toukokuuta 2002, haitallisista aineista eläinten rehuissa. *Euroopan yhteisöjen virallinen lehti* L 140/10-21.
- Feng, Y., Zhao, M., He, Z., Chen, Z. & Sun, L. 2009. Research and utilization of medicinal insects in China. *Entomological Research* 39(5): 313–316.
- Finke, M.D. 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates as food for insectivores. *Zoo Biology* 21: 269–285.
- Finke, M.D. 2007. Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biology* 26: 105–115.
- Finke, M.D. 2013. Complete nutrient content of four species of feeder insects. *Zoo biology* 32: 27-36.
- Finke, M.D., Rojo, S., Roos, N., van Huis, A. & Yen, A.L. 2015. The European Food Safety Authority scientific opinion on a risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *Journal of Insects as Food and Feed* 1: 245–247.
- Finlex 2012. Kansallinen asetus: Maa- ja metsätalousministeriön asetus rehualan toiminnan-harjoittamisesta. 548/2012. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20120548>.
- Finlex 2015. Laki eläimistä saatavista sivutuotteista. L 517/2015. Laki on annettu Helsingissä 24 päivänä huhtikuuta 2015. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150517>.
- Flachowsky, G. 2002. Efficiency of energy and nutrient use in the production of edible protein of animal origin. *Journal of Applied Animal Research* 22: 1–24.
- Fraenkel, G. 1953. Studies on the distribution of vitamin BT (carnitine). *Biological Bulletin* 104: 359–371.
- Fraenkel, G. 1958. The effect of zinc and potassium in the nutrition of *Tenebrio molitor*, with observations on the expression of a carnitine deficiency. *Journal of Nutrition* 65: 361–395.
- Fraenkel, G. & Blewett, M. 1943. The basic food requirements of several insects. *Journal of Experimental Biology* 20: 28–34.
- Fraenkel, G. & Blewett, M., 1944. The utilisation of metabolic water in insects. *Bulletin of Entomological Research* 35: 127.
- Fraenkel, G., Blewett, M. & Coles, M. 1950. The nutrition of the mealworm, *Tenebrio molitor* L. (Tenebrionidae, Coleoptera). *Physiological Zoology* 23: 92–108.
- Fraenkel, G. & Chang, P.I. 1954. Manifestations of a vitamin BT (carnitine) deficiency in the larvae of the mealworm, *Tenebrio molitor* L. *Physiological zoology* 27: 40–56.
- Fraenkel, G., & Leclercq, J. 1956. Nouvelles recherches sur les besoins nutritifs de la larve du *Tenebrio molitor*. *Archives Internationales de Physiologie et de Biochimie* 64: 601–622.
- Fraenkel, G. & Stern, H.R. 1951. The nicotinic acid requirements of two insect species in relation to the protein content of their diets. *Archives of Biochemistry* 30: 438–444.
- Fraenkel, G., Blewett, M. & Coles, M. 1950. The nutrition of the mealworm, *Tenebrio molitor* L. (Tenebrionidae, Coleoptera). *Physiological Zoology*, 23: 92–108.
- Franklin, H.M. 1940. Raising mealworms, *Federal Government Series* WL 155.

- Gerber, G.H. & Sabourin, D.U., 1984. Oviposition site selection in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *The Canadian Entomologist* 116: 27–39.
- Ghaly, A.E. & Alkoaik, F.N. 2009. The yellow mealworm as a novel source of protein. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 4: 319–331.
- Ghouri, A.S.K. & McFarlane, J.E. 1958. Observations on the development of crickets. *The Canadian Entomologist* 90: 158–165.
- Gilmour, D. 1961. The biochemistry of insects. Academic Press, New York. 343 s.
- Gingrich, R.E., Graham, A.J. & Hightower, B.G. 1971. Media containing liquefied nutrients for mass-rearing larvae of the screwworm. *Journal of Economic Entomology* 64: 673–683.
- Gobbi, P., Martínez-Sánchez, A. & Rojo, S. 2013. The effects of larval diet on adult life-history traits of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *European Journal of Entomology* 110: 461–468.
- Goodman, W.G. 1989. Chitin, a magic bullet? *Food Insects Newsletter* 2(3): 1–7.
- Górska-Andrzejak, J. & Wojtusiak, J. 2003. Comparative study of the level of locomotor activity throughout postembryonic development of two cricket species: *Acheta domesticus* L. and *Gryllus bimaculatus* De Geer (Ensifera: Gryllidae). *Journal of Insect Behavior* 16: 845–857.
- Gortari, M.C. & Hours, R.A. 2013. Biotechnological processes for chitin recovery out of crustacean waste: A mini-review. *Electronic Journal of Biotechnology* 16(3): 14 + 4 s. Doi: 10.2225/vol16-issue3-fulltext-10.
- Greenberg, S. & Ar, A. 1996. Effects of chronic hypoxia, normoxia and hyperoxia on larval development in the beetle *Tenebrio molitor*. *Journal of Insect Physiology* 42: 991–996.
- Gregory, J.F. 1996. Vitamins. Teoksessa: Fennema, O.R. (toim.) *Food Chemistry*, 3. painos, Marcel Dekker, New York. s. 534–616.
- Hackman, R.H. 1952. Chemistry of insect cuticle 3. hardening and darkening of the cuticle. *Biochemical Journal* 54: 371–377.
- Han, X. 2018. Chitin analysis of insects (mealworm and cricket). EKT Series 1825. University of Helsinki, Helsinki. 60 s.
- Hanboonsong, Y. & Durst, P.B. 2014. Edible insects in Lao PDR: Building on tradition to enhance food security. RAP Publication 2014/12. Regional Office of Asia and the Pacific of the Food and Agricultural Organization, UN, Bangkok. 56 s. <http://www.fao.org/3/a-i3749e.pdf>.
- Hanboonsong, Y., Jamjanya, T. & Durst, P.B. 2013. Six-legged livestock, edible insect farming, collecting and marketing in Thailand. Regional Office of Asia and the Pacific of the Food and Agricultural Organization, UN, Bangkok. 69 s. <http://www.fao.org/docrep/017/i3246e/i3246e.pdf>.
- Hansen, L.L., Ramløv, H. & Westh, P. 2004. Metabolic activity and water vapour absorption in the mealworm *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera Tenebrionidae): real-time measurements by two-channel microcalorimetry. *Journal of Experimental Biology* 207: 545–552.
- Hartman, C., Ruby, M.B., Schmidt, P. & Siegrist, M. 2018. Brave, health-conscious, and environmentally friendly: Positive impressions of insect food product consumers. *Food Quality and Preference* 68: 64–71.
- Heiska, S. & Huikuri, N. 2017. Hyönteistuotannon esiselvitys: Hankkeen loppuraportti. Luke. 144 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-502-8>.
- Hirvisalo, E., Karhapää, M., Mäki, M., Marnila, P., Lindqvist, B., Siljander-Rasi, H., Tuiskula-Haavisto, M., Jauhiainen, L., Roininen, H. & Sorjonen, J. 2018. Safe and sustainable feed for *Tenebrio molitor* from domestic side streams of bio-economy. Teoksessa: Piofczyk, T., Vilcinskis, A., Schetelig, M.F., Bußler, S., Durek, J., Fröhling, A. & Schlüter, O. (toim.) *INSECTA 2018 Book of Abstracts*. Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V., Giessen. s. 72.
- Hollis, J.H. 1963. Habitatory response decrement in pupae of *Tenebrio molitor*. *Animal Behavior* 11: 161–163.
- Holmes, L. 2010. Role of abiotic factors on the development and life history of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). MSc Thesis. University of Windsor, Windsor. 168 s.
- Holmes, L.A., Vanlaerhoven, S.L. & Tomberlin, J.K. 2012. Relative humidity effects on the life history of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Environmental Entomology* 41: 971–978.

- Holmes, L.A., Vanlaerhoven, S.L. & Tomberlin, J.K. 2013. Substrate effects on pupation and adult emergence of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), *Environmental Entomology* 42: 370–374.
- Horppu, H., Hulshof, J. & Koskula, H. 2017. Hyönteistuotannon lisäysmateriaaliselvitys – Tilaustyö Pielisen Karjalan Kehittämiskeskukselle (Pikes Oy). Biotus Oy.
- House, J. 2016. Consumer acceptance of insect-based foods in the Netherlands: Academic and commercial implications. *Appetite* 107: 47–58.
- Huldén, L. 2015. Minikarjaa – Hyönteiset ruokana. Like Kustannus Oy, Helsinki. 300 s.
- Hyönteistalous 2014. Hyönteisruoan ravitsemuksesta. Haettu 29.11.2018 osoitteesta <http://hyonteistalous.blogspot.fi/2014/07/hyonteisruoan-ravitsemuksesta.html> [Verkkoartikkeli].
- IPIFF 2018. The European insect sector today: challenges, opportunities and regulatory landscape. IPIFF vision paper on the future of the insect sector towards 2030. IPIFF, Brussels, Belgium. 16 s. https://gallery.mailchimp.com/1031b8bb7e721d31bcf4682c4/files/40a7edc3-26e1-483d-8467-308b8c968125/Web_version_IPIFF_Sustainability_consult_Brochure_31_10_1.pdf.
- John, A.M., Davis, G.R. & Sosulski, F.W. 1978. Protein nutrition of *Tenebrio molitor* L. XIX. Growth response to levels of dietary protein and of an amino acid mixture. *Archives internationales de physiologie et de biochimie* 86: 761–770.
- John, A.M., Davis, G.R. & Sosulski, F.W., 1979. Protein nutrition of *Tenebrio molitor* L. XX. Growth response of larvae to graded levels of amino acids. *Archives internationales de physiologie et de biochimie* 87: 997–1004.
- Johnson, K.S. & Felton, G.W. 2001. Plant phenolics as dietary antioxidants for herbivorous insects: A test with genetically modified tobacco. *Journal of Chemical Ecology* 27: 2579–2597.
- Jyllilä, L. 2018. Suullinen tiedonanto. Toholampi, 16.3.2018.
- Kairenius, T. 2018. Hyönteiskokki. Like Kustannus Oy, Helsinki. 250 s. ISBN: 978-952-01-1282-0.
- Kalová, M. & Borkovcová, M., 2013. Voracious larvae *Hermetia illucens* and treatment of selected types of biodegradable waste. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 61: 77–83.
- Kanatt, S.R., Chander, R. & Sharma, A., 2008. Chitosan and mint mixture: A new preservative for meat and meat products. *Food Chemistry* 107: 845–852.
- Kanatt, S.R., Rao, M.S., Chawla, S.P. & Sharma, A. 2013. Effects of chitosan coating on shelf-life of ready-to-cook meat products during chilled storage. *LWT-Food science and technology* 53: 321–326.
- Kaukovirta-Norja, A., Leinonen, A., Morkkila, M., Wessberg, N. & Niemi, J. 2015. Tiekartta Suomen Proteiiniomavaraisuuden parantamiseksi. Grano, Kuopio. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/visions/2015/V6.pdf>. 66 s.
- Kauppi, S.-M. 2016. Insect economy and marketing: How much and in what way could insects be shown in packaging? Master's Thesis, 102 s. Aalto University, School of Arts, Design and Architecture, Helsinki. https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/22808/master_Kauppi_Hanna_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Kawasaki, K., Hashimoto, Y. & Hori, A. 2019. Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae and pre-pupae raised on household organic waste, as potential ingredients for poultry feed. *Animals* 9(3): 98.
- Kaya, M., Sargin, I., Aylanc, V., Tomruk, M.N., Gevrek, S., Karatoprak, I., Colak, N., Sak, Y.G. & Bulut, E. 2016. Comparison of bovine serum albumin adsorption capacities of α -chitin isolated from an insect and β -chitin from cuttlebone. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 38: 146–156.
- Keena, M.A., Odell, T.M. & Tanner, J.A. 1998. Environmentally based maternal effects are the primary factor in determining the developmental response of gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) to dietary iron deficiency. *Annals of the Entomological Society of America* 91: 710–718.
- Kim, S.Y., Kim, H.G., Lee, K.Y., Yoon, H.J. & Kim, N.J. 2016. Effects of Brewer's spent grain (BSG) on larval growth of mealworms, *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *International Journal of Industrial Entomology* 32: 41–48.

- Kim, S.Y., Park, J.B., Lee, Y.B., Yoon, H.J., Lee, K.Y. & Kim, N.J. 2015. Growth characteristics of mealworm *Tenebrio molitor*. *Journal of Sericultural and Entomological Science* 53: 1–5; engl. abstrakti.
- Klunder, H.C., Wolkers-Rooijackers, J., Korpela, J.M. & Nout, M.J.R. 2012. Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food Control* 26: 628–631.
- Kogan, M. 1977. The role of chemical factors in insect/plant relationships. Proceedings of XV International Congress in Entomology, Washington DC. s. 211–227.
- Kok, R. 1983. The production of insects for human food. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal* 16: 5–18.
- Kok, R., Shivhare, U.S. & Lomaliza, K.J. 1990. Mass and component balances for insect production. *Canadian Agricultural Engineering* 33: 185–192.
- Kong, M., Chen, X.G., Xing, K. & Park, H.J. 2010. Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: A state of the art review. *International Journal of Food Microbiology* 144: 51–63.
- Koo, H., Kim, S., Oh, H., Kim, J., Choi, D., Kim, D. & Kim, I. 2013. Temperature-dependent development model of larvae of mealworm beetle, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera : Tenebrionidae). *Korean Journal of Applied Entomology* 52(4): 387–394; engl. abstrakti.
- Kortelainen, T., Siljander-Rasi, H., Tuori, M. & Partanen, K. 2016. Mustasotilaskärpäsien toukkajauhon (*Hermetia illucens*) aminohappojen sulavuus porsailta. Teoksessa: Maataloustieteen Päivät 2016 Proceedings. Suomen Maataloustieteellinen Seura, Helsinki. 7 s.
- Kouřimská, L. & Adámková, A. 2016. Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal* 4: 22–26.
- Krams, I., Kecko, S., Kangassalo, K., Moore, F.R., Jankevics, E., Inashkina, I., Krama, T., Lietuvietis, V., Meija, L. & Rantala, M.J. 2015. Effects of food quality on trade-offs among growth, immunity and survival in the greater wax moth *Galleria mellonella*. *Insect Science* 22: 431–439.
- Krishnan, M., Bharathiraja, C., Pandiarajan, J., Prasanna, V., Rajendhran, J. & Gunasekaran, P. 2014. Insect gut microbiome – An unexploited reserve for biotechnological application. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* 14: 16–21.
- Kvassay, G. 2014. The complete cricket breeding manual. 3. painos. CreateSpace Independent Publishing Platform, Scotts Valley. 164 s.
- Kämäräinen, A. 2018. Hyönteisinfo: Kotisirkkojen kasvatus – Kokemuksia kotisirkkojen kasvattamisesta video Oulun Seudun BiotalousLeader -kiertueen tilaisuudessa ”Uusi hyönteisbisnes osana maaseudun biotaloutta”. ProAgria Oulu, Kempele 1.2.2018
<https://www.youtube.com/watch?v=IEOxczs92bw>.
- L 517/2015 Laki eläimistä saatavista sivutuotteista. Laki on annettu Helsingissä 24 päivänä huhtikuuta 2015. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150517>.
- Lalander, C., Diener, S., Magri, M.E., Zurbrugg, C., Lindström, A. & Vinnerås, B. 2013. Faecal sludge management with the larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) – from a hygiene aspect. *Science of the Total Environment* 458–460: 312–318.
- Lalander, C.H., Fidjeland, J., Diener, S., Eriksson, S. & Vinnerås B. 2015. High waste-to-biomass conversion and efficient *Salmonella* spp. reduction using black soldier fly for waste recycling. *Agronomy for Sustainable Development* 35: 261–271.
- Lalander, C., Seneca, J., Gros Calvo, M., Ahrens, L., Josefsson, S., Wiberg, K. & Vinnerås, B. 2016. Fate of pharmaceuticals and pesticides in fly larvae composting. *Science of the Total Environment* 565: 279–286.
- Lanham, U. 1964. The Insects. Columbia University Press, New York. s. 43–52.
- Leclercq, J. 1948. Sur les besoins en stéroïdes des larves de *Tenebrio molitor* L. *Original Research Article Biochimica et Biophysica Acta* 2: 614–617.
- Leclercq, J. & Lopez-Francos, L. 1964. Nutrition protidique chez *Tenebrio molitor* L. VI.—Essais de remplacement de la caséine par des mélanges artificiels d'acides aminés. *Archives internationales de physiologie et de biochimie* 72: 276–296.
- Lee, J., Kim, Y.M., Park, Y.K., Yang, Y.C., Jung, B.G. & Lee, B.J. 2018. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae enhances immune activities and increases survivability of broiler chicks against

- experimental infection of *Salmonella* Gallinarum. *The Journal of Veterinary Medical Sciences* 80: 736–740.
- Lehtovaara, V.J., Valtonen, A., Sorjonen, J., Hiltunen, M., Rutaro, K., Malinga, G.M., Nyeko, P. & Roininen, H. 2017. The fatty acid contents of the edible grasshopper *Ruspolia differens* can be manipulated using artificial diets. *Journal of Insects as Food and Feed* 3: 1–10.
- Leong, S.Y., Rahman, S., Kutty, M., Malakahmad, A. & Tan, C.K. 2016. Feasibility study of biodiesel production using lipids of *Hermetia illucens* larva fed with organic waste. *Waste Management* 47: 84–90.
- Li, L., Stasiak, M., Li, L., Xie, B., Fu, Y., Gidzinski, D., Dixon, M. & Liu, H. 2016. Rearing *Tenebrio molitor* in BLSS: Dietary fiber affects larval growth, development, and respiration characteristics. *Acta Astronautica* 118: 130–136.
- Li, L., Zhao, Z. & Liu, H. 2013. Feasibility of feeding yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) in bioregenerative life support systems as a source of animal protein for humans. *Acta Astronautica* 92: 103–109.
- Li, Q., Zheng, L., Cai, H., Garza, E., Yu, Z. & Zhou, S. 2011. From organic waste to biodiesel: Black soldier fly, *Hermetia illucens*, makes it feasible. *Fuel* 90: 1545–1548.
- Li, W., Li, Q., Zheng, L., Wang, Y., Zhang, J., Yu, Z. & Zhang, Y. 2015. Potential biodiesel and biogas production from corncob by anaerobic fermentation and black soldier fly. *Bioresource Technology* 194, 276–282.
- Liu, K., Li, Y., Jousset, F.-X., Zadori, Z., Szelei, J., Yu, Q., Pham, H.T., Lépine, F., Bergoin, M. & Tijssen, P. 2011. The *Acheta domesticus* densovirus, isolated from the European house cricket, has evolved an expression strategy unique among parvoviruses. *Journal of Virology* 85: 10069–78.
- Liu, Q., Tomberlin, J.K., Brady, J.A., Sanford, M.R. & Yu, Z. 2008. Black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae reduce *Escherichia coli* in dairy manure. *Environmental Entomology* 37: 1525–1530.
- Liu, S., Sun, J., Yu, L., Zhang, C., Bi, J., Zhu, F., Qu, M., Jiang, C. & Yang, Q. 2012. Extraction and Characterization of Chitin from the Beetle *Holotrichia parallela* Motschulsky. *Molecules* 17: 4604–4611.
- Liu, X., Chen, X., Wang, H., Yang, Q., ur Rehman, K., Li, W., Cai, M., Li, Q., Mazza, L., Zhang, J., Yu, Z. & Zheng, L. 2017. Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly. *PLOS ONE* 12(8): e0182601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182601>.
- Lohri, C.R., Diener, S., Zabaleta, I., Mertenat, A. & Zurbrugg, C. 2017. Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low-and middle-income settings. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 16: 81–130.
- Loudon, C. 1988. Development of *Tenebrio molitor* in low oxygen levels. *Journal of Insect Physiology* 34: 97–103.
- Ludwig, D. 1956. Effect of temperature and parental age in the life cycle of the mealworm, *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera, Tenebrionidae). *Annals of the Entomological Society of America* 49: 12–15.
- Ludwig, D. & Flore, C. 1960. Further studies on the relationship between parental age and the life cycle of the mealworm, *Tenebrio molitor*. *Annals of the Entomological Society of America* 53: 595–600.
- Lundy, M.E. & Parrella, M.P. 2015. Crickets are not a free lunch: Protein capture from scalable organic side-streams via high-density populations of *Acheta domesticus*. *PLOS ONE* 10(4): e0118785. doi:10.1371/journal.pone.0118785 pmid:25875026.
- MMM 548/2012. Kansallinen asetus: Maa- ja metsätalousministeriön asetus rehualan toiminnanharjoittamisesta. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20120548>.
- Machin, J. 1976. Passive exchanges during water vapour absorption in mealworms (*Tenebrio molitor*): a new approach to studying the phenomenon. *Journal of Experimental Biology* 65: 603–615.
- Makkar, H.P.S., Tran, G., Heuzé, V. & Ankers, P. 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology* 197: 1–33.

- Manojlovic, B. 1987. A contribution of the study of the influence of the feeding of imagos and of climatic factors on the dynamics of oviposition and on the embryonal development of yellow mealworm *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae) *Zastita bilja* (Yugoslavia) 38: 337–348.
- Mariod, A.A., Abdelwahab, S.I., Ibrahim, M.Y., Mohan, S., Elgadir, M.A. & Ain, N.M. 2011. Preparation and characterization of gelatins from two Sudanese edible insects. *Journal of Food Science and Engineering* 1: 45.
- Mariod, A.A., Matthäus, B., Eichner, K. & Hussein, I.H. 2006. Frying quality and oxidative stability of two unconventional oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 83: 529–538.
- Martin, H.E. & Hare, L. 1942. The nutritive requirements of *Tenebrio molitor* larvae. *Biological Bulletin* 83: 428–437.
- Martin, R.D., Rivers, J.P.W. & Cowgill, U.M. 1976. Culturing mealworms as food for animals in captivity. *International Zoo Yearbook* 16: 63–70.
- Maurer, V., Holinger, M., Amsler, Z., Fruh, B., Wohlfahrt, J., Stamer, A. & Leiber, F. 2015. Replacement of soybean cake by *Hermetia illucens* meal in diets for layers. *Journal of Insects as Food and Feed* 2: 83–90.
- McCollum, B.V. & Simmonds, N.J. 1918. A study of the dietary essential water soluble B in relation to its solubility and stability towards reagents. *Journal of Biological Chemistry* 33: 55–89.
- McFarlane, J.E. 1972a: Vitamin E, tocopherol quinone and selenium in the diet of the house cricket, *Acheta domesticus* (L.). *Israel Journal of Entomology* 7: 7–14.
- McFarlane, J.E. 1972b: Studies on vitamin E in the house cricket, *Acheta domesticus* (L.) (Orthoptera: Gryllidae). I. Nutritional albinism. *The Canadian Entomologist* 104: 511–514.
- McFarlane, J.E. 1972c: Studies on vitamin E in the house cricket, *Acheta domesticus* (L.) (Orthoptera: Gryllidae) II. *In vivo* inhibition by vitamin E of a phenolase system in the egg. *The Canadian Entomologist* 104: 515–518.
- McFarlane, J.E. 1976a: Influence of dietary copper and zinc on growth and reproduction of the house cricket (Orthoptera: Gryllidae). *The Canadian Entomologist* 108: 387–390.
- McFarlane, J.E. 1976b: Vitamin K: a growth factor for the house cricket (Orthoptera: Gryllidae). *The Canadian Entomologist* 108: 391–394.
- McFarlane, J.E. 1978: Vitamins E and K in relation to growth of the house cricket (Orthoptera: Gryllidae). *The Canadian Entomologist* 110: 329–330.
- McFarlane, J.E. 1985. Nutrition and digestive organs. Teoksessa: Blum, M.S. (toim.) Fundamentals of insect physiology. s. 59–89. John Wiley & Sons, New York.
- McFarlane, J.E. 1991. Dietary sodium, potassium and calcium requirements of the house cricket, *Acheta domesticus* (L.). *Comparative Biochemistry & Physiology* 100A: 217–220.
- Mellandby, K. & French, R.A., 1958. The importance of drinking water to larval insects. *Entomologia experimentalis et applicata* 1, 116–124.
- Mellberg, S. & Wirtanen, G. 2018. Clean and easy cricket rearing – A guide on hygienic building design in rearing facilities. Reports 186. University of Helsinki Ruralia-Institute, Seinäjoki. 29 s. ISBN: 978-951-51-3766-1. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/259036>.
- Melvin, R. ja Bushland, R.C. 1936. A Method of Rearing *Chochliomyia Americana* C. & P. on Artificial Media. U.S. Bureau of Entomology and Plant Quarantine, Report et-88, Washington DC.
- Menozzi, D., Sogari, G., Veneziani, M., Simoni, E. & Mora, C. 2017. Eating novel foods: An application of the theory of planned behaviour to predict the consumption of an insect-based product. *Food Quality and Preference* 59: 27–34.
- Metcalf, C.L. & Flint, W.P. 1939. Destructive and useful insects: their habits and control, 2. painos, McGraw-Hill, Beck. s. 797–798.
- Meticulous Research 2019. Edible Insects Market – Global Opportunity Analysis and Industry Forecast (2019–2030). <https://www.meticulousresearch.com/product/edible-insects-market-forecast/>
- Miech, P., Lindberg, J.E., Berggren, Å., Chhay, T. & Jansson, A. 2017. Apparent faecal digestibility and nitrogen retention in piglets fed whole and peeled Cambodian field cricket meal. *Journal of Insects as Food and Feed* 3, 279–288.

- MMM. 2017. Suomi sallii hyönteisten pääsyn elintarvikemarkkinoille. Tiedote 20.7.2017. Viitattu 9.7.2020. Saatavilla: <https://mmm.fi/-/suomi-sallii-hyonteisten-paasyn-elintarvikemarkkinoille>
- Morales-Ramos, J.A. & Rojas, M.G. 2015. Effect of larval density on food utilization efficiency of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Economic Entomology* 108: 2259–2267.
- Morales-Ramos, J.A., Rojas, M.G., Shapiro-Ilan, D.I. & Tedders, W.L. 2010. Developmental plasticity in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae): analysis of instar variation in number and development time under different diets. *Journal of Entomological Science* 45: 75–90.
- Morales-Ramos, J.A., Kay, S., Rojas, M.G., Shapiro-Ilan, D. I. & Tedders, W.L. 2015. Morphometric analysis of instar variation in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Annals of the Entomological Society of America* 108: 146–159.
- Morales-Ramos, J.A., Rojas, M.G., Kay, S., Shapiro-Ilan, D.I. & Tedders, W.L. 2012. Impact of adult weight, density, and age on reproduction of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Entomological Science* 47: 208–220.
- Morales-Ramos, J.A., Rojas, M.G., Shapiro-Ilan, D.I., Tedders, W.L. & Tedders, A.W.L. 2011a. Self-selection of two diet components by *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae and its impact on fitness. *Environmental Entomology* 40: 1285–1294.
- Morales-Ramos, J.A., Rojas, M.G., Shapiro-Ilan, D.I. & Tedders, W.L. 2011b. Automated insect separation system. US Patent No. US 8,025,027 B1. <https://patentimages.storage.googleapis.com/24/70/e3/02a38880c8b1b0/US8025027.pdf>
- Morales-Ramos, J.A., Rojas, M.G., Shapiro-Ilan, D.I. & Tedders, W.L. 2013. Use of Nutrient Self-Selection as a diet refining tool in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Entomological Science* 48: 206–221.
- Mordor Intelligence. 2019. Edible insects market size, growth analysis – Segmented by insect type (beetles, caterpillar, hymenoptera, orthoptera, tree bugs), by product type (as a whole, as a ingredient), by application, and geography – Trends, and forecast (2019 – 2024). https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/edible-insects-market?gclid=Cj0KCQjwgez0BRDNARIsAGzEfe5kJc7Zq9a3vqokDMTz9sNir_NfQRXKbwBEbn9Xf93QW7a7y-edlGwaAmWwEALw_wcB.
- Moula, N., Scippo, M.-L., Douny, C., Degand, G., Dawans, E., Cabaraux, J.-F., Hornick, J.-L., Medigo, R.C., Leroy, P., Francis, F. & Detilleux, J. 2018. Performances of local poultry breed fed black soldier fly larvae reared on horse manure. *Animal Nutrition* 4: 73–78.
- Murray, D.R.P. 1968. The importance of water in the normal growth of larvae of *Tenebrio molitor* L. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 11: 149–168.
- Muzzarelli, R.A.A. 1997. Human enzymatic activities related to the therapeutic administration of chitin derivatives. *Cellular and Molecular Life Sciences* 53: 131–140.
- Muzzarelli, R.A.A. 2010. Chitins and chitosans as immunoadjuvants and non-allergenic drug carriers. *Marine Drugs* 8: 292–312.
- Myers, H.M., Tomberlin, J.K., Lambert, B.D. & Kattes, D. 2008. Development of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae fed dairy manure. *Environmental Entomology* 37: 11–15.
- Mäki, M., Hirvisalo, E., Roininen, H., Sorjonen, J., Marnila, P., Pap, N., Lindqvist, B., Karhapää, M., Tuiskula-Haavisto, M. & Siljander-Rasi, H. 2018. Chemical and microbiological quality of *Tenebrio molitor* and their potential feed. 26. NJF-kongressi “Agriculture for the next 100 years”, 27–29 kesäkuuta 2018. Aleksandras Stulginskis University, Akademija (Liettua). Abstrakti.
- Naidu, S.G. 2008. Why does the Namib desert tenebrionid *Onymacris unguicularis* (Coleoptera: Tenebrionidae) fog-bask? *European Journal of Entomology* 105: 829–838.
- Nakagaki, B.J. & DeFoliart, G.R. 1991. Comparison of diets for mass-rearing *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae) as a novelty food, and the comparison of food conversion efficiency with values reported for livestock. *Journal of Economic Entomology* 84: 891–896.
- Nakagaki, J.M., Sunde, M.L. & DeFoliart, G.R. 1987. Protein quality of the house cricket, *Acheta domesticus*, when fed to broiler chicks. *Poultry Science* 66: 1367–1371.
- Newton, G.L., Booram, C.V., Barker, R.W. & Hale, O.M. 1977. Dried *Hermetia illucens* larvae meal as a supplement for swine. *Journal of Animal Science* 44: 395–400.

- Newton, L., Sheppard, C., Watson, D.W., Burtle, G. & Dove, R. 2005. Using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure. North Carolina State University, Raleigh. 19 s.
- Newton, G.L., Sheppard, D.C., Watson, D.W., Burtle, G.J., Dove, C.R., Tomberlin, J.K. & Thelen, E.E. 2004. The black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a manure management / resource recovery tool. State of the Science, Animal Manure & Waste Management, San Antonio.
- Ng, W.-K., Liew, F.-L., Ang, L.-P. & Wong, K.-W. 2001. Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture Research* 32(Suppl. 1): 273–280.
- Nguyen, T.T., Tomberlin, J.K. & Vanlaerhoven, S. 2015. Ability of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae to recycle food waste, *Environmental Entomology* 44: 406–410.
- Nix, P.M., & Bass, M.H. 1973. Biological and toxicological notes on the house cricket. Agricultural Experiment Station, Auburn University. Leaflet 86. 4 s.
- Norris, D.M. & Kogan, M. 1980. Biochemical and morphological bases of resistance. Teoksessa: Maxwell, F.G. & Jennings, P.R. (toim.) *Breeding Plants Resistant to Insects*. John Wiley & Sons: New York. s. 23–61.
- Offenberg, J. 2011. *Oecophylla smaragdina* food conversion efficiency: prospects for ant farming. *Journal of Applied Entomology* 135: 575–581.
- Ohura, M. 2003. Development of an automated warehouse type silkworm rearing system for the production of useful materials. *Journal of Insect Biotechnology and Sericology* 72: 163–169.
- Oonincx, D.G.A.B. & de Boer, I.J.M. 2012. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans—A Life Cycle Assessment. *PLOS ONE* 7(12): e51145.
- Oonincx, D., van Huis, A. & van Loon, J. 2015b. Nutrient utilisation by black soldier flies fed with chicken, pig, or cow manure. *Journal of Insects as Food and Feed* 1: 131–139.
- Oonincx, D.G.A.B., van Broekhoven, S., van Huis, A. & van Loon, J.J.A. 2015a. Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLOS ONE* 10(12): e0144601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144601>
- Ortiz, J.A.C., Ruiz, A.T., Morales-Ramos, J.A., Thomas, M., Rojas, M.G., Tomberlin, J.K., Yi, L., Han, R., Giroud, L. & Jullien, R.L. 2016. Chapter 6 - Insect mass production technologies. Teoksessa: Dossey, A.T., Morales-Ramos, J.A. & Rojas, M.G. (toim.) *Insects as sustainable food ingredients*. Academic Press, San Diego. s. 153–201. ISBN 9780128028568.
- Ozimek, L., Sauer, W.C., Kozikowski, V., Ryan, J.K., Jorgensen, H. & Jelen, P. 1985. Nutritive value of protein extracted from honeybees. *Journal of Food Science* 50: 1327–1329.
- Panizzi, A.R. & Parra, J.R.P. 2012. Insect bioecology and nutrition for integrated pest management. Teoksessa: Panizzi, A.P. & Parra, J.R.P. (toim.) *Contemporary Topics in Entomology*. CRC Press, Boca Raton.
- Paoletti, M.G., Norberto, L., Damini, R. & Musumeci, S. 2007. Human gastric juice contains chitinase that can degrade chitin. *Annals of Nutrition and Metabolism* 51: 244–251.
- Park, H.H. 2016. Black soldier fly larvae manual. Student showcase 14. http://scholarworks.umass.edu/sustainableumass_studentshowcase/14. University of Massachusetts-Amherst.
- Parra Paz, A.S., Carrejo, N.S. & Gómez Rodríguez, C.H. 2015. Effects of larval density and feeding rates on the bioconversion of vegetable waste using black soldier fly larvae *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). *Waste and Biomass Valorization* 6: 1059–1065.
- Pastor, B., Velasques, Y., Gobbi, P. & Rojo, S. 2015. Conversion of organic wastes into fly larval biomass: bottlenecks and challenges. *Insects as Food and Feed* 1: 179–193.
- Patton, R.L. 1978. Growth and development parameters for *Acheta domesticus* (Orthoptera Gryllidae). *Annals of the Entomological Society of America* 71: 40–42.
- Patton, R.L. 1967. Oligidic diets for *Acheta domesticus* (Orthoptera: Gryllidae). *Annals of the Entomological Society of America* 60: 1238–1242.

- Payne, C., Scarborough, P., Rayner, M. & Nonaka, K. 2016. Are edible insects more or less 'healthy' than commonly consumed meats? A comparison using two nutrient profiling models developed to combat over- and undernutrition. *European Journal of Clinical Nutrition* 70: 285–291.
- Piha, S., Pohjanheimo, T., Lähteenmäki-Uutela, A., Křečková, Z. & Otterbring, T. 2018. The effects of consumer knowledge on the willingness to buy insect food. *Food Quality and Preference* 70: 1–10.
- Pleasant Hill Grain 2018. Yrityksen verkkosivu. Haettu 30.11.2018://pleasanthillgrain.com/cricket-flour-grinder-powder-insect-food-processing
- Punzo, F. 1975. Effects of temperature, moisture and thermal acclimation on the biology of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). Retrospective Theses and Dissertations. 5438. Iowa State University, Ames. 197 s.
- Punzo, F. & Mutchmor, J.A. 1980. Effects of temperature, relative humidity and period of exposure on the survival capacity of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of the Kansas Entomological Society* 53: 260–270.
- Purschke, B., Scheibelberger, R., Axmann, S., Adler, A. & Jäger, H. 2017. Impact of substrate contamination with mycotoxins, heavy metals and pesticides on the growth performance and composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) for use in the feed and food value chain. *Food Additives & Contaminants: Part A* 34: 1410–1420.
- Ramos-Bueno, R.P., González-Fernández, M.J., Sánchez-Muros-Lozano, M.J., García-Barroso, F. & Guill-Guerrero, J.L. 2016. Fatty acid profiles and cholesterol content of seven insect species assessed by several extraction systems. *European Food Research and Technology* 242: 1471–1477.
- Ramos-Elorduy, J., Gonzalez, E.A., Hernandez, A.R. & Pino, J.M. 2002. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. *Journal of Economic Entomology* 95: 214–220. PMID: 11942759.
- Rehbein, H., Danulat, E. & Leineman, M. 1986. Activities of chitinase and protease and concentration of fluoride in the digestive tract of Antarctic fishes feeding on krill (*Euphausia superba*, Dana). *Comparative Biochemistry & Physiology* 85: 545–551.
- Reinecke, J.P. 1985 Nutrition: Artificial diets. Teoksessa: Kerkut, G.A. & Gilbert, L.I. (toim.) Comprehensive insect physiology biochemistry and pharmacology, vol. 4. Pergamon Press, Oxford. s. 319–419.
- Research and Markets 2019. Edible insects market by product type (whole insect, insect powder, insect meal, insect type (crickets, black soldier fly, mealworms), application (animal feed, protein bar and shakes, bakery, confectionery, beverages) – Global forecast to 2030. Haettu 30.11.2018 osoitteesta: <https://www.researchandmarkets.com/reports/4757400/edible-insects-market-by-product-type-whole#pos-0>.
- Rho, M.S. & Lee, K.P. 2014. Geometric analysis of nutrient balancing in the mealworm beetle, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Insect Physiology* 71: 37–45.
- Rho, M.S. & Lee, K.P. 2016. Balanced intake of protein and carbohydrate maximizes lifetime reproductive success in the mealworm beetle, *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Insect Physiology* 91–92: 93–99. DOI: 10.1016/j.jinsphys.2016.07.002.
- Ribeiro, N. 2017. *Tenebrio molitor* for food or feed rearing conditions and the effect of pesticides on its performance. Dissertação. Escola Superior Agrária de Coimbra, Coimbra. 70 s.
- Ritchot C. 1960. The B vitamin requirements of the house cricket. Master thesis at the Faculty of Department of Entomology, McGill University, Montreal. 63 s.
- Rodriguez, J.G. 1972. Insect and mite nutrition: significance and implications in ecology and pest management. North-Holland Publishing Company, Amsterdam. 702 s.
- Roe, R.M., Clifford, C.W. & Woodring, J.P. 1980. The effect of temperature on feeding, growth, and metabolism during the last larval stadium of the female house cricket, *Acheta domesticus*. *Journal of Insect Physiology* 26: 639–644.
- Roe, R.M., Clifford, C.W. & Woodring, J.P. 1985. The effect of temperature on energy-distribution during the last-larval stadium of the female house cricket, *Acheta domesticus*. *Journal of Insect Physiology* 31: 371–378.

- Rumpold, B.A. & Schüter, O.K. 2013b. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research* 57: 802–23.
- Rumpold, B.A. & Schlüter, O.K. 2013a. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 17: 1–11.
- Rumpold, B., Fröhling, A., Reineke, K., Knorr, D., Boguslawski, S., Ehlbeck, J. & Schlüter, O. 2014. Comparison of volumetric and surface decontamination techniques for innovative processing of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*). *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 26: 232–241.
- Rumpold, B.A., Bußler, S., Jäger, H. & Schlüter, O. 2017. Insect processing. In: van Huis, A. & Tomberlin, J.K. (toim.). *Insects as food and feed from production to consumption*. Academic Publishers, Wageningen. s. 318–341
- Ruokavirasto 2019. Hyönteiset elintarvikkeina. Ruokaviraston ohje 10588/3. Haettu osoitteesta https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/tietoa-meista/asiointi/oppaat-ja-lomakkeet/yritykset/elintarvikeala/alkutuotanto/hyonteisohje_10588_3_fi.pdf.
- Ruokavirasto 2020. Lista siirtymäaikana sallituista hyönteislajeista. Haettu 9.7.2020 osoitteesta <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/elintarvikeala/elintarvikkeiden-alkutuotanto/elaimista-saatavat-elintarvikkeet/hyonteiset/lista-siirtyma aikana-sallituista-hyonteislajeista/>
- Ruralia-instituutti Helsingin yliopisto 2018. Henkilökohtainen suojaus. Haettu 24.4.2018 osoitteesta <https://www.helsinki.fi/en/unitube/video/aabb5d60-b18e-489a-a038-cc05a8840e12>.
- Savvidou, N. & Bell, C.H. 1994. The effect of larval density, photoperiod and food change on development of *Gnatocerus cornutus* (F.) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Stored Products Research* 30: 17–21.
- Schiavone, A., Cullere, M., De Marco, M., Meneguz, M., Biasato, I., Bergagna, S., Dezzutto, D., Gai, F., Dabbou, S., Gasco, L. & Dalle Zotta, A. 2016. Partial or total replacement of soybean oil by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) fat in broiler diets: effect on growth performances, feed-choice, blood traits, carcass characteristics and meat quality. *Italian Journal of Animal Science*, 16: 93–100. <http://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1249968>.
- Schneider, J.C. (toim.) 2009. Principles and procedures for rearing high quality insects. Mississippi State University, Mississippi State. 352 s.
- Scriber, J.M. & Slansky, F.J. 1981. The nutritional ecology of immature insects. *Annual Review of Entomology* 26: 183–211.
- Scruggs, C.G. 1978. The origin of the screwworm control program. Teoksessa: Richardson, R.H. (toim.) *The screwworm problem - evolution of resistance to biological control*. University of Texas Press, Austin. s. 11–18.
- Sheppard, D.C., Newton, G.L. & Burtle, G. 2007. Black soldier fly prepupae: a compelling alternative to fish meal and fish oil. Public comment on alternative feeds for aquaculture. 15/11/2007 – 29/2/2008. National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring.
- Sheppard, D.C., Newton, G.L., Thompson, S.A. & Savage, S. 1994. A value added manure management system using the black soldier fly. *Bioresource Technology* 50: 275–279.
- Sheppard, D.C., Tomberlin, J.K., Joyce, J.A., Kiser, B.C. & Sumner, S.M. 2002. Rearing methods for the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Medical Entomology* 39: 695–698.
- Sherwin, C.M. 2001. Can invertebrates suffer? Or how robust is argument by analogy? *Animal Welfare* 10: S103–118.
- Singh, P. 1977. Artificial diets for insects, mites, and spiders. Plenum Press, London. 594 s.
- Singh, P. 1985. Multiple-species rearing diets. Teoksessa: Singh, P. & Moore, R.F. (toim.) *Handbook of insect rearing*, vol. I. Elsevier Science Publishers, Amsterdam. s. 19–24.
- Sitra, 2015. Sitran selvityksiä 99: Ravinteiden kierron taloudellinen arvo ja mahdollisuudet Suomelle. ISBN 978-951-563-937. <https://www.sitra.fi/julkaisut/Selvityksiä-sarja/Selvityksiä99.pdf>.
- Slansky Jr., F. 1985. Food utilization by insects: Interpretation of observed differences between dry weight and energy efficiencies. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 39: 47–60.
- Smil, V. 2002. Worldwide transformation of diets, burdens of meat production and opportunities for novel food proteins. *Enzyme and Microbial Technology* 30: 305–11.

- Smith, S.A., Robbins, L.W. & Steier, J.G. 1998. Isolation and characterization of a chitinase from the nine-banded armadillo, *Dasypus novemcinctus*. *Journal of Mammalogy* 79: 486–491. <https://doi.org/10.2307/1382979>.
- Sojakka, K. & Välimäki, M.-L. 2011. Ammatillinen mikrobiologia. Opetushallitus, Helsinki.
- Sorjonen, J.M., Valtonen, A., Hirvisalo, E., Karhapää, M., Lehtovaara, V.J., Lindgren, J., Marnila, P., Mooney, P., Mäki, M., Siljander-Rasi, H., Tapio, M., Tuiskula-Haavisto, M. & Roininen, H. 2019. The plant-based by-product diets for the mass-rearing of *Acheta domesticus* and *Gryllus bimaculatus*. *PLOS ONE* 14(6): e0218830. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218830>.
- Insectes Sociaux* 14: 415–426.
- St-Hilaire, S., Sheppard, C., Tomberlin, J.K., Irving, S., Newton, L., McGuire, M.A., Mosley, E.E., Hardy, R.W. & Sealey, W. 2007a. Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of the World Aquaculture Society* 38: 59–67.
- St-Hilaire, S., Cranfill, K., McGuire, M.A., Mosley, E.E., Tomberlin, J.K., Newton, L., Sealey, W., Sheppard, C. & Irving, S. 2007b. Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. *Journal of the World Aquaculture Society* 38: 309–313.
- Standifer, L.N. 1967. A comparison of the protein quality of pollens for growth-stimulation of the hypopharyngeal glands and longevity of honey bees, *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae).
- Stone, P.C. 1953. The house cricket as a laboratory insect. *Turtox News* 31: 150–151.
- Statista 2018. Edible insects. Haettu 30.11.2018: <https://www.statista.com/study/56817/edible-insects/>.
- Stone, P.C. 1953. The house cricket as a laboratory insect. *Turtox News* 31: 150-1.
- Stoops, J., Crauwels, S., Waud, M., Claes, J., Lievens, B. & van Campenhout, L. 2016. Microbial community assessment of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) and grasshoppers (*Locusta migratoria migratorioides*) sold for human consumption. *Food Microbiology* 53: 122–127.
- Suomalainen, H. 1999. Ravintokuoriaisten vilejelystä. *Herpetomania* 5–6: 27–33.
- Szelei, J., Woodring, J., Goettel, M.S., Duke, G., Jousset, F., Liu, K.Y., Zadori, Z., Li, Y., Styer, E., Boucias, D.G., Kleespies, R.G., Bergoin, M. & Tijssen P. 2011. Susceptibility of North-American and European crickets to *Acheta domesticus* densovirus (AdDNV) and associated epizootics. *Journal of Invertebrate Pathology* 106: 394–399.
- Tan, H.S.G., Fischer, A.R.H., Tinchin, P., Stieger, M., Steenbekkers, L.P.A. & van Trijp, H.C.M. 2015. Insects as food: Exploring cultural exposure and individual experience as determinants of acceptance. *Food Quality and Preference* 42: 78–89.
- Tan, H.S.G., Verbaan, Y.T. & Stieder, M. 2017. How will better products improve the sensory-liking and willingness to buy insect-based foods? *Food Research International* 92: 95–105.
- Tomberlin, J.K. & Sheppard, D.C. 2002. Factors influencing mating and oviposition of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) in a colony. *Journal of Entomological Science* 37: 345–352.
- Taylor, D.B. 1992. Rearing systems for screwworm mass production. Teoksessa: Anderson, T.E. & Leppla, N.C. (toim.) *Advances in insect rearing for research and pest management*. Westview Press, Boulder. s. 393–403.
- Teerikorpi, S. 2018. Hyönteistalouden paikalliset mahdollisuudet. Opinnäytetyö, Hämeen ammatti-korkeakoulu, Hämeenlinna. 56 s. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018061914102>.
- Thompson, S.N. & Hagen, K.S. 1999. Nutrition of entomophagous insects and other arthropods. Teoksessa: Bellows, T.S. & Fisher, T.W. (toim.) *Handbook of biological control*. Academic Press, New York. s. 594–652.
- Tomberlin, J.K. & Sheppard, D.C. 2002. Factors influencing mating and oviposition of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) in a colony. *Journal of Entomological Science* 37: 345–352.
- Tomberlin, J.K., Adler, P.H. & Myers, H.M. 2009. Development of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) in relation to temperature. *Environmental Entomology* 38: 930–934.
- Tomberlin, J.K., Sheppard, D.C. & Joyce, J.A. 2002. Selected life-history traits of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) reared on three artificial diets. *Annals of the Entomological Society of America* 95: 379–386.

- Tomberlin, J.K., Sheppard, D.C. & Joyce, J.A. 2005. Black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) colonization of pig carrion in South Georgia. *Journal of Forensic Sciences* 50: 152–153.
- Tomberlin J.K., van Huis, A., Benbow, M.E., Jordan, H., Astuti, D.A., Azzollini, D., Banks, I., Bava, V., Borgemeister, C., Cammack, J.A., Chapkin, R.S., Cikova, H., Crippen, T.L., Day, A., Dicke, M., Drew, D., Emhart, C., Epstein, M., Finke, C M., Fischer, H., Gatlin, D., Grabowski, N.T., He, C., Heckman, L., Hubert, A., Jacobs, J., Joseph, J., Khanal, S.K., Kleinfinger, J.K., Klein, G., Leach, C., Liu, Y., Newton, G.L., Olivier, R., Pechal, J.L., Picard, C.J., Rojo, S., Roncarati, A., Sheppard, C., Tarone, A.M., Verstappen, B., Vickerson, A., Yang, H., Yen, A., Yu, Z., Zhang, J. & Zheng, L. 2015. Protecting the environment through insect farming as a means to produce protein for use as livestock, poultry, and aquaculture feed. *Journal of Insects as Food and Feed* 1: 307–309.
- Tschinkel, W.R. & Willson, C.D. 1971. Inhibition of pupation due to crowding in some tenebrionid beetles. *Journal of Experimental Zoology* 176: 137–145.
- Turunen, S. 1979. Digestion and absorption of lipids in insects. *Comparative Biochemistry & Physiology* 63A: 455–460.
- Tyshchenko, V.P. & Ba, A.S. 1986. Photoperiodic regulation of larval growth and pupation of *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae). *Entomological review* 65: 35–46. ISSN: 0013-8738
- Tzompa-Sosa, D.A., Verbeek, J.M. & van Valenberg, H.J. 2016. Fractionation of insect oils: the case of yellow mealworm oil. *Inform - International News on Fats, Oils, and Related Materials* 27: 24–27. 10.21748/inform.07.2016.24.
- Tzompa-Sosa, D.A., Yi, L., van Valenberg, H.J., van Boekel, M.A. & Lakemond, C.M. 2014. Insect lipid profile: aqueous versus organic solvent-based extraction methods. *Food Research International* 62: 1087–1094.
- Urrejola, S., Nespolo, R. & Lardies, M.A. 2011. Diet-induced developmental plasticity in life histories and energy metabolism in a beetle. *Revista Chilena de Historia Natural* 84: 523–533.
- Urs, K.C.D. & Hopkins, T.L. 1973. Effect of moisture on growth rate and development of two strains of *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera, Tenebrionidae). *Journal of Stored Products Research* 8: 291–297.
- Ussery, H. 2009. Black soldier fly, white magic. *Backyard Poultry Magazine* Oct/Nov 2009. <https://www.themodernhomestead.us/article/Black+Soldier+Fly.html>
- Uvarov, B.P. 1928. Insect nutrition and metabolism: A summary of the literature. *Transactions of the Royal Entomological Society of London* 74: 255–343.
- van Broekhoven, S., Oonincx, D.G.A.B., van Huis A. & van Loon, J.J.A. 2015. Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. *Journal of Insect Physiology* 73: 1–10.
- van Huis, A. 2003. Medical and stimulating properties ascribed to arthropods and their products in sub-Saharan Africa. Teoksessa: Motte-Florac, É. & Thomas, J.M.C. (toim.) *Insects in oral literature and traditions*. Ethnoscience: 11. Société d'études linguistiques et anthropologiques de France (series): 407. Peeters, Paris. s. 367–382.
- van Huis, A. 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology* 58: 563–583.
- van Huis, A., van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G. & Vantomme, P. 2013. Edible insects: future prospects for food and feed security. FAO, Rome. E-ISBN 978-92-5-107596-8. 187 s.
- Vanderzant, E.S. 1959. Inositol: an indispensable dietary requirement for the boll weevil. *Journal of Economic Entomology* 52: 1018–1019.
- Vanderzant, E.S. 1974. Development, significance, and application of artificial diets for insects. *Annual Review of Entomology* 19: 139–160.
- Vandeweyer, D., Crauwels, S., Lievens, B. & van Campenhout, L. 2017. Metagenetic analysis of the bacterial communities of edible insects from diverse production cycles at industrial rearing companies. *International Journal of Food Microbiology* 261: 11–18.
- Vartiainen, O. 2017. Kuluttajien suhtautuminen hyönteisiin valmistettuihin elintarvikkeisiin ja aikomus käyttää niitä omassa ruokavaliossa tulevaisuudessa. Pro gradu -tutkielma. Itä-Suomen yliopisto, Savonlinna. 136 s.

- Veldkamp, T., van Duinkerken, G., van Huis, A., Iakemond, C.M.M., Ottevanger, E. & van Boekel, M.A.J.S. 2012. Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets - a feasibility study. Report 638. WUR Livestock Research, Lelystad. 48 s. https://www.wur.nl/upload_mm/2/8/0/f26765b9-98b2-49a7-ae43-5251c5b694f6_234247%5B1%5D
- Vendramim, J.D., Souza, A.R.R. & Parra, J.R.P. 1982. Ciclo biológico de *Heliothis virescens* (Fabricius, 1781) (Lepidoptera, Noctuidae) em dietas com diferentes tipos de celulose. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil* 11: 3–11.
- Verbeke, W. 2015. Profiling consumers who are ready to adopt insects as a meat substitute in a Western society. *Food Quality and Preference* 39: 147–155
- Vogel, H., Müller, A., Heckel, D.G., Gutzeit, H. & Vilcinskis, A. 2018. Nutritional immunology: diversification and diet-dependent expression of antimicrobial peptides in the black soldier fly *Hermetia illucens*. *Developmental and Comparative Immunology* 78: 141–148.
- VTT 2017. VTT kehitti jauhomadoista ja kotisirkoista raaka-aineita lihapulliin ja falafeleihin. Haettu 30.11.2018 osoitteesta <https://www.vtt.fi/medialle/uutiset/vtt-kehitti-jauhomadoista-ja-kotisirkoista-raaka-aineita>. Verkkoartikkeli.
- Waśko, A., Bulak, P., Polak-Berecka, M., Nowak, K., Polakowski, C. & Bieganski, A. 2016. The first report of the physicochemical structure of chitin isolated from *Hermetia illucens*. *International Journal of Biological Macromolecules* 92: 316–320. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.07.038>.
- Weaver, D.K. & McFarlane, J.E. 1990. The effect of larval density on growth and development of *Tenebrio molitor*. *Journal of Insect Physiology* 36: 531–536.
- Weiser, J.I., Porth, A., Mertens, D. & Karasov, W.H. 1997. Digestion of chitin by Northern Bobwhites and American Robins. *The Condor* 99: 554–556.
- Wilkinson, J. 2011. Re-defining efficiency of feed use by livestock. *Animal* 5: 1014–1022.
- Williams, J., Williams, J., Kirabo, A., Chester, D. & Peterson, M. 2016. Chapter 3 - Nutrient content and health benefits of insects. Teoksessa: Dossey, A., Morales-Ramos, J. & Rojas, M.G. (toim.) Insects as sustainable food ingredients. Academic Press. ISBN 978-0-12-802856-8. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012802856800003X>. s. 61–84.
- Wirtanen, G., & Salo, S. 2014. Cleaning and disinfection. Teoksessa: Ninios, T., Lundén, J., Korkeala, H. & Fredriksson-Ahomaa, M. (toim.). Meat inspection and control in the slaughterhouse. Pp. 453–472. Wiley-Blackwell. ISBN: 978-1-118-52586-9.
- Wirtanen, G., Godden, P., Salo, S., & Salmela, H. 2014. Testing of hand hygiene of the personnel in an internal medicine ward using automatic non-touch dosing devices in comparison with hand-operated dispensers. Teoksessa: Wirtanen, G. & Salo, S. (toim.). 45th R3-Nordic Symposium - Cleanroom technology, contamination control and cleaning. VTT Technology 168. VTT, Espoo. s. 95–98.
- Woodring, J.P. & Clifford, C.W. 1986. Development and relationships of locomotor, feeding, and oxygen consumption rhythms in house crickets. *Physiological Entomology* 11: 89–96.
- Wu, S.X. 2009. Studies on optimization of rearing condition and nutriment content of larvae of *Tenebrio molitor* L. Anhui Agricultural University, Master Degree.
- Yang, J., Yang, Y., Wu, W., Zhao, J. & Jiang, L. 2014. Evidence of polyethylene biodegradation by bacterial strains from the guts of plastic-eating waxworms. *Environmental Science & Technology* 48, 13776–13784. DOI: 10.1021/es504038a
- Yang, S.-S., Brandon, A.M., Flanagan, J.C.A., Yang, J., Ning, D., Cai, S.-Y., Fan, H.-Q., Wang, Z.-Y., Ren, J., Benbow, E., Ren, N.-Q., Waymouth R.M., Zhou, J., Criddle, C.S. & Wu, W.-M. 2018. Biodegradation of polystyrene wastes in yellow mealworms (larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus): Factors affecting biodegradation rates and the ability of polystyrene-fed larvae to complete their life cycle. *Chemosphere* 191: 979–989. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.10.117.
- Yi, L., Iakemond, C.M., Sagis, L.M., Eisner-Schadler, V., van Huis, A. & van Boekel, M.A. 2013. Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chemistry* 141: 3341–3348.

- Yu, G., Cheng, P., Chen, Y., Li, Y., Yang, Z., Chen, Y. & Tomberlin, J.K. 2011. Inoculating poultry manure with companion bacteria influences growth and development of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae. *Environmental Entomology* 40: 30–35.
- Zdybicka-Barabas, A., Bulak, P., Polakowski, C., Bieganski, A., Waśko, A. & Cytryńska, M. 2017. Immune response in the larvae of the black soldier fly *Hermetia illucens*. *Invertebrate Survival Journal* 14: 9–17.
- Zhang, A.-J., Qin, Q.-L., Zhang, H., Wang, H.-T., Li, X., Miao, L. & Wu, Y.-J. 2011. Preparation and characterisation of food-grade chitosan from housefly larvae. *Czech Journal of Food Science* 29: 616–623.
- Zhang, J., Huang, L., He, J., Tomberlin, J.K., Li, J., Lei, C., Sun, M., Liu, Z. & Yu, Z. 2010. An artificial light source influences mating and oviposition of black soldier flies, *Hermetia illucens*. *Journal of Insect Science* 10: artikkeli 202, 7 s. doi: 10.1673/031.010.20201.
- Zheng, L., Li, Q., Zhang, J. & Yu, Z. 2011. Double the biodiesel yield: rearing black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, on solid residual fraction of restaurant waste after grease extraction for biodiesel production. *Renewable Energy* 41: 75–79. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.10.004>.



Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000